

2-2016

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-



БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

МЕТОДЫ
ИСПЫТАНИЙ
НА РАБОТО-
СПОСОБНОСТЬ
ВОДЯНЫХ
И ПЕННЫХ АУП



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ДО 150 МИН

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

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

ТЕПЛО ХИМ

КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ДО 120 МИН

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

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



РЕКЛАМА

**огнезащита
краски**

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

**www.tphm.ru
www.texon.ru**

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

КОЛЕСНИКОВ Е. Ю., АНОХИН В. В., МАСЛОВ Е. Ф.
Основные проблемы методологии анализа риска аварий

5

KOLESNIKOV E. Yu., ANOKHIN V. V., MASLOV E. F.
Main problems of emergency risk assessment methodology

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

НАТЕЙКИНА Л. И.
Минимальная толщина огнезащитного покрытия
вспенивающегося типа

10

NATEYKINA L. I.
The minimum thickness of fire-retardant coating
intumescent type

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

ПУЗАЧ С. В., СУЛЕЙКИН Е. В.
Новый теоретико-экспериментальный подход
к расчету распространения токсичных газов
при пожаре в помещении

13

PUZACH S. V., SULEYKIN E. V.
New united theoretical and experimental approach
to the calculation of the distribution of toxic gases
in case of fire in the room

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

FIRE HAZARD OF ELECTROTECHNICAL PRODUCTS

НЕДОБИТКОВ А. И.
Фрактография изломов медных проводников
автомобильной электрической цепи

21

NEDOBITKOV A. I.
Fractography of car electric circuit copper
conductor fractures

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

FIRE AUTOMATIC

МЕШМАН Л. М., ГУБИН Р. Ю., ДИДЯЕВ А. Г.,
ТАНКЛЕВСКИЙ Л. Т., ТАНКЛЕВСКИЙ А. Л.
Методы испытаний на работоспособность
водяных и пенных АУП

28

MESHMAN L. M., GUBIN R. Yu., DIDYAEV A. G.,
TANKLEVSKIY L. T., TANKLEVSKIY A. L.
Test methods on the operability of water
and foam automatic fire extinguishing systems

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.
Анализ процесса тушения пламени горючих жидкостей
дисперсными огнетушащими веществами
и пеной низкой кратности

51

KOROLCHENKO D. A.
Analysis of the process of extinguishing of a flame
of flammable liquids by disperse extinguishing agents
and low expansion foam

ДУШКИН А. Л., ЛОВЧИНСКИЙ С. Е., РЯЗАНЦЕВ Н. Н.
Новый класс мелкодисперсных распылителей
для подавления возгораний на энергетических объектах
под напряжением

59

DUSHKIN A. L., LOVCHINSKIY S. Ye., RYAZANTSEV N. N.
New class of atomized water sprayers
for live equipment fire
suppression

ХИЛЬ Е. И., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Влияние природы пенообразователей
на огнетушащую эффективность пены низкой кратности

69

KHIL E. I., SHAROVARNIKOV A. F.
Influence of the foamers nature on fire extinguishing
effectiveness of foam of low frequency rate

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТАРАНЦЕВ А. А., ИЩЕНКО А. Д., МАЛЫШЕВ Д. А.
Об особенностях функционирования
дежурно-диспетчерских служб экстренного реагирования

75

TARANTSEV A. A., ISHCENKO A. D., MALYSHEV D. A.
About features of functioning of services on duty
and dispatching of the emergency reaction

ВОПРОС – ОТВЕТ

81

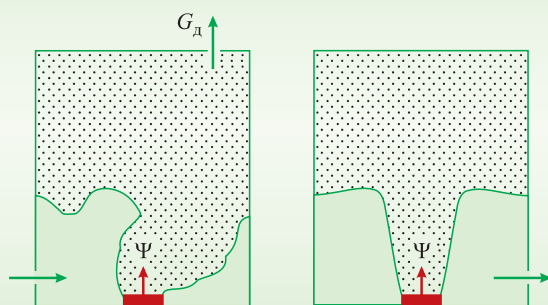
QUESTION – ANSWER

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 ВИНИТИ 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.



Расчет распространения токсичных газов



Фрактография изломов медных проводников

Стр. 13

Стр. 21



Методы испытаний на работоспособность АУП

Стр. 28



Анализ процесса тушения пламени горючих жидкостей

Стр. 51

Стр. 75



Функционирование системы экстренного реагирования

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, mail@firepress.ru,

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

Подписано в печать 15.02.2016. Выход в свет 25.02.2016.

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 15.02.2016

Date of publication 25.02.2016

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)

Е. Ю. КОЛЕСНИКОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, Поволжский государственный технологический университет (Россия, Республика Марий Эл, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3; e-mail: e.konik@list.ru)

В. В. АНОХИН, начальник отдела, эксперт промышленной безопасности, Проектный институт "Союзхимпромпроект" ФГБОУ ВПО КНИТУ (Россия, Республика Татарстан, 420032, г. Казань, ул. Димитрова, 11)

Е. Ф. МАСЛОВ, главный специалист, эксперт промышленной безопасности, Проектный институт "Союзхимпромпроект" ФГБОУ ВПО КНИТУ (Россия, Республика Татарстан, 420032, г. Казань, ул. Димитрова, 11)

УДК 62.001.25

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ

Показано, что в области анализа и количественной оценки аварийного (в частности, пожарного) риска необходимо применять скалярную метрику риска, которая характеризовала бы оба его компонента (вероятность и ущерб). Выделены четыре методологические проблемы анализа риска, ключевой из которых является проблема существования и количественной оценки неопределенности. Рассмотрены три типа неопределенности аварийного риска, принятые в международной практике: терминологическая, параметрическая и модельная. Приведены примеры источников неопределенности указанных типов.

Ключевые слова: анализ риска; проблемы методологии; критерии приемлемого риска; кадровое обеспечение; неопределенность.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.5-9

Введение

Анализ риска — бурно развивающееся междисциплинарное научное направление, область применения которого постоянно расширяется, охватывая все новые предметные области. В настоящее время в ряде "пилотных" регионов Российской Федерации реализуется апробация так называемого "риск-ориентированного" подхода к планированию надзорной деятельности — в области природоохранного дела, обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, промышленной безопасности. По указанию президента России В. В. Путина Минэкономразвития РФ разработало законопроект "О государственном и муниципальном контроле (надзоре)", согласно которому частота и глубина проверок должны быть пропорциональны уровню риска проверяемого объекта. Таким образом, значимость методологии анализа и оценки рисков неуклонно возрастает и, судя по международному опыту, будет расти и впредь.

Между тем, единый понятийный аппарат анализа риска до сих пор не сформирован, в различных предметных областях он существенно разнится. Отсутствует даже каноническое толкование базового понятия "риск", хотя подавляющая часть специалистов согласна с тем, что риск сочетает в себе оценку вероятности негативного события и обусловленного им ущерба.

Рассматривая одну из ветвей анализа риска — анализ риска аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС), следует заметить, что ее отличительной особенностью является сугубо больший удельный вес использования количественных показателей и математического моделирования. В связи с этим сегодня говорят об анализе и количественной оценке риска (КОР) аварий и ЧС. Памятуя о главном предназначении методологии КОР — об управлении промышленной и пожарной безопасностью, мы приходим к выводу, что целевые метрики аварийного риска (те "синтетические" показатели, которые характеризуют как вероятность, так и ущерб аварии (или ЧС)) должны быть выражены скалярным числом. Именно такой показатель риска используется, например, в работе [1]. Только в этом случае мы получим возможность сравнивать альтернативы, выбирать оптимальное решение из имеющихся вариантов проектных решений, разработанных для повышения безопасности.

Основные проблемы методологии анализа аварийного риска

Рассматривая общие проблемы методологии анализа риска аварий и чрезвычайных ситуаций, можно выделить наиболее важные из них:

- **несовершенство имеющейся методической базы.** В современной России (как в свое время

и в СССР) в области безопасности принято выполнять расчеты исключительно с использованием методических документов, утвержденных “в установленном порядке”. Сравнение отечественных методик с аналогичными зарубежными [2–4] обычно оказывается не в пользу первых, хотя и вторые далеки от идеала, не свободны от ошибок и пробелов. Эта проблема хорошо известна. К сожалению, она не может быть решена так быстро, как хотелось бы, и требует длительной кропотливой работы;

- **кадровое обеспечение.** Как известно, высшая школа России никогда не готовила и не готовит в настоящее время специалистов (бакалавров) по анализу риска. Это несоответствие между потребностью современной российской экономики, нуждающейся в услугах риск-аналитиков (риск-менеджеров), и отсутствием дипломированных специалистов данного профиля должно быть устранено;
- **отсутствие национальных критериев приемлемого риска.** Это важнейший методологический вопрос, нерешенность которого делает бессмысленным применение концепции “приемлемого риска”. Имеющиеся нормативы, например величина допустимого индивидуального пожарного риска для персонала производственного объекта, а также населения, находящегося в селитебной зоне вблизи от него, из ст. 93 Технического регламента [5], проблему не решают, так как не регламентируют пожарную безопасность имущества и объектов природной среды. Кроме того, не все поражающие факторы аварий (ЧС) обусловлены взрывами и пожарами. Так, ущерб людям, имуществу юридических и физических лиц, объектам природной среды может быть нанесен в результате выброса аварийно химически опасных веществ, не сопровождающегося их сгоранием. Существуют и другие виды ЧС — обрушения зданий и сооружений, транспортные аварии и т. д.;
- **наличие неопределенности КОР** и полное игнорирование этой проблемы в отечественных нормативно-методических документах. Любому специалисту, на практике занимающемуся КОР, хорошо известно, что все этапы этой процедуры содержат значительную неопределенность. Широко известны случаи [6], когда именно неопределенность методологии КОР позволяла проектировщикам, манипулируя данными, достигать приемлемых оценок индивидуального или социального риска проектируемых ими промышленных объектов. При этом полученные на этапе экспертизы оценки риска зачастую превышали проектные значения на два порядка и более.

Серьезная проблема отечественной методологии заключается в том, что эта неопределенность до сих пор остается у нас скрытой, несмотря на свои масштабы. Действующие отечественные нормативно-методические документы совершенно игнорируют эту ключевую проблему, не только не предлагая способов количественной оценки неопределенности (КОН) рассчитываемых параметров риска, но даже и не указывая на само существование этой неопределенности. Все расчеты рекомендуется выполнять в точечной постановке, а результат представлять также скалярной величиной.

Структура неопределенности аварийного риска

Понятие “неопределенность” имеет два аспекта — качественный и количественный. Неопределенность любого параметра модели опасного объекта, аварийного процесса, объекта-мишени (параметрическая неопределенность) обусловлена как объективными, так и субъективными факторами. К числу первых принадлежит изменчивость их свойств (например, количество горючего вещества в резервуаре в момент аварии, координаты подвижного объекта, температура атмосферного воздуха, скорость ветра и т. д.). Вторые обусловлены скудным и неточным знанием, например, физико-химических свойств горючего вещества, констант модельных уравнений и т. д.

Количественно параметрическая неопределенность может быть задана различными способами, в частности вероятностным, с помощью нечетких чисел, коэффициента неопределенности, в интервальной форме. В отличие от мнения авторов [7], по нашему представлению, интервальный способ является наиболее универсальным. Аппарат интервального анализа, в том числе с использованием современных программных продуктов, позволяет выполнять в рамках нормативных методик необходимые расчеты и получать значение метрики аварийного риска (например, величину индивидуального пожарного риска) в интервальной форме.

В настоящее время в международной практике при выполнении КОР принято выделять следующие типы неопределенности:

- 1) терминологическая;
- 2) параметрическая;
- 3) модельная:
 - сценарная;
 - концептуальная;
 - аппроксимационная;
 - вычислительная.

Приведем примеры всех вышеназванных типов неопределенности (см. таблицу).

Примеры наличия неопределенности при моделировании различных сценариев аварии

Тип неопределенности	Сценарий	Пример
Терминологическая	Пожар пролива	Разные толкования понятия “длина пламени”, обуславливающие различия ее величины до трех раз; нечеткое определение понятия “среднеповерхностная плотность теплового излучения”, не указывающее на учет или неучет излучений оптического диапазона
	Объемный взрыв паровоздушного облака (ПВО)	Нечеткое определение понятия “концентрация горючего вещества” (не указан период осреднения)
Модельная: – сценарная	BLEVE	Учет/неучет возможности реализации BLEVE на резервуарах с вертикальными стенками (типа РВС)
	Дрейф ПВО под действием ветра	Учет/неучет возможности дрейфа ПВО под действием ветра
– концептуальная	Пожар пролива	Моделирование пламени: а) точечным излучающим центром; б) твердым телом с излучением тепла исключительно поверхностью
	Испарение пролива	Моделирование испарения жидкости в атмосфере из пролива на основе механизма молекулярной или турбулентной диффузии
– аппроксимационная	Пожар пролива	Аппроксимация формы пламени: а) цилиндром; б) конусом; в) усеченным конусом
	Испарение пролива	Расчет удельной массовой скорости испарения: а) по нормативной методике МЧС РФ [8]; б) по модели Саттона; в) по модели Кавамуры и МакКея (Kawamura & MacKay)

Параметрическая неопределенность имманентна, т. е. имеет место при любом моделировании и обусловлена тем обстоятельством, что большая часть параметров модели либо объективно варьирует (например, температура атмосферного воздуха, количество опасного вещества в резервуаре), либо может быть представлена некоторым интервалом (диапазоном), отражающим имеющееся неточное знание величины параметра.

Как показал наш анализ, очень большая неопределенность сопутствует оценке вероятности событий, а также на этапе оценки ущерба. Укрупненно можно выделить два типа источников данной неопределенности — качественные и количественные. Приведем несколько типичных источников неопределенности данного этапа на примере эффектов воздействия теплового излучения:

1) качественного типа:

- отсутствие учета экологического ущерба, обусловленного воздействием теплового потока пламени, огненного шара и т. п. (кроме СТО Газпром [9]);
- отсутствие учета в большей части Руководств по КОР наличия защиты от воздействия на людей теплового излучения (одежды и специальных укрытий);

- отсутствие учета спектрального состава излучения;
- отсутствие указаний в большей части Руководств на способ избежать двойного учета людей в облучаемой популяции, получающих различную степень поражения при различных сценариях аварии;

- расчетные соотношения для пробит-функции поражения человека тепловым излучением, рекомендуемые большей частью Руководств по КОР, не учитывают: а) нелетальное поражение (ожоги различной степени); б) возможное непостоянство интенсивности падающего теплового потока и т. д.;

2) количественного типа:

- различие пороговых значений безопасной интенсивности продолжительного облучения — 4 и 1 кВт/м²;
- различие величин коэффициентов в расчетном выражении для пробит-функции летального исхода при облучении человека тепловым потоком в различных Руководствах по КОР.

Отметим, что в ведомственном Руководстве по КОР [8], разработанном ОАО “Газпром”, этап оценки ущерба при авариях проработан лучше, чем в федеральных документах [8, 10, 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фирсов А. В. Об определении расчетных величин индивидуального пожарного риска // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 4. — С. 27–34.

2. CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects (3rd ed.). — The Hague : The Netherlands Organization of Applied Scientific Research, 2005.
3. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis (2nd ed.). — Wiley-AIChE, 2000. — 748 p. DOI: 10.1002/9780470935422.
4. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (3rd ed.). — Bethesda, 2002. — 1604 p.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
6. Колесников Е. Ю. Анализ техногенного риска: проблемы и неопределенности // Проблемы анализа риска. — 2013. — Т. 10, № 5. — С 14–20.
7. Markowski A. S., Mannan M. S., Kotynia A. (Bigoszewska), Siuta D. Uncertainty aspects in process safety analysis // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2010. — Vol. 23, No. 3. — P. 446–454. DOI: 10.1016/j.jlp.2010.02.005.
8. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404; введ. 10.07.2009 (в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649). URL: <http://base.garant.ru/196118> (дата обращения: 10.08.2015).
9. СТО Газпром 2-2.3-351–2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО “Газпром”. — Введ. 30.12.2009. — М. : ООО “Газпром экспо”, 2009. — 379 с.
10. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств : приказ Ростехнадзора от 11.03.2013 № 96; введ. 10.12.2013. — М. : НТЦ “Промышленная безопасность”, 2013. — Серия 09, Вып. 37.
11. Руководство по безопасности “Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности” : приказ Ростехнадзора от 27.12.2013 № 646; введ. 27.12.2013. — М. : НТЦ “Промышленная безопасность”, 2014. — Серия 09, Вып. 38.

Материал поступил в редакцию 31 августа 2015 г.

Для цитирования: Колесников Е. Ю., Анохин В. В., Маслов Е. Ф. Основные проблемы методологии анализа риска аварий // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 5–9. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.5-9.

English

MAIN PROBLEMS OF EMERGENCY RISK ASSESSMENT METHODOLOGY

KOLESNIKOV E. Yu., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Volga State University of Technology (Lenina Sq., 3, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; e-mail address: e.konik@list.ru)

ANOKHIN V. V., Head of Department, Expert of Industrial Safety, Design Institute “Soyuzkhimpromproekt” of Kazan National Research Technological University (Dimitrova St., 11, Kazan, 420032, Russian Federation)

MASLOV E. F., Senior Specialist, Expert of Industrial Safety, Design Institute “Soyuzkhimpromproekt” of Kazan National Research Technological University (Dimitrova St., 11, Kazan, 420032, Russian Federation)

ABSTRACT

Currently, the scope of the methodology of risk analysis continues to expand. With regard to the emergency (fire in particular) it's more correct to speak about security analysis and quantitative risk assessment (QRA). Accidental risk metric that describes a probability and accident damage, it should express the scalar number.

There are four most important issues of this methodologies today:

- imperfection of the existing methodological framework;
- staffing (human resources);
- absence of federal criteria of acceptable risk;
- presence of uncertainty on all stages of the QRA.

Despite the fact that around the world the presence of uncertainty and methods of its quantitative assessment in the performance of the QRA has long been widely studied, this problem is ignored in Russia.

Uncertainty has two aspects — quantitative and qualitative. Analyzing the sources of uncertainty, it decided to allocate the following types: terminological, parametric and model. The latter, in turn, are subdivided into scenario, conceptual and approximating. One can cite a few concrete examples of the different types sources of uncertainty of fire risk.

According to the analysis, the greatest uncertainty is accompanied assessing the likelihood of events and stage assessment of the damage. In the latter case it is possible to allocate uncertainty of qualitative and quantitative type.

Keywords: risk analysis; methodological problems; acceptable risk criteria's; human resources; uncertainty.

REFERENCES

1. Firsov A. V. Ob opredelenii raschetnykh velichin individualnogo pozharnogo riska [On defining calculated values of individual fire risk]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2012, no. 4, pp. 27–34.
2. *CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects* (3rd ed). The Hague, The Netherlands Organization of Applied Scientific Research, 2005.
3. *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis* (2nd ed.). Wiley-AICHe, 2000. 748 p. DOI: 10.1002/9780470935422.
4. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.). Bethesda, 2002. 1604 p.
5. 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).
6. Kolesnikov E. Yu. Analiz tekhnogennogo riska: problemy i neopredelennosti [Technogenic risk analysis: problems and uncertainty]. *Problemy analiza riska — Issues of Risk Analysis*, 2013, vol. 10, no. 5, pp. 14–20.
7. Markowski A. S., Mannan M. S., Kotynia A. (Bigoszewska), Siuta D. Uncertainty aspects in process safety analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2010, vol. 23, no. 3, pp. 446–454. DOI: 10.1016/j.jlp.2010.02.005.
8. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (red. on 14.12.2010). Available at: <http://base.garant.ru/196118> (Accessed 10 August 2015) (in Russian).
9. *Standard of Gazprom 2-2.3-351–2009. Risk analysis techniques for hazardous gas-transport facilities gas companies “Gazprom”*. Moscow, OOO “Gazprom ekspozitsiya”, 2009. 379 p. (in Russian).
10. *Common rules of explosion safety for fire-explosion dangerous objects of chemical, petrochemical and oil-refining industry*. Order of Rostekhnadzor on 11.03.2013 No. 96. Moscow, Scientific and Technological Center “Fire Safety”, 2013, series 09, issue 37 (in Russian).
11. *Safety manual “Technique on accidental risk assessment of dangerous production objects of oil-refining, petro- and gaschemical industry”*. Order of Rostekhnadzor on 27.12.2013 No. 646. Moscow, Scientific and Technological Center “Fire Safety”, 2014, series 09, issue 38 (in Russian).

For citation: Kolesnikov E. Yu., Anokhin V. V., Maslov E. F. Osnovnyye problemy metodologii analiza riska avariyy [Main problems of emergency risk assessment methodology]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 5–9. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.5-9.

МИНИМАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ВСПЕНИВАЮЩЕГОСЯ ТИПА

© Л. И. НАТЕЙКИНА

(e-mail: lyudmila@texon.ru; www.texon.ru, www.tphm.ru)

Известно, что огнезащитная эффективность покрытия вспенивающегося типа обусловлена тремя основными эффектами:

- величиной эндотермического отъема тепла, расходуемого на фазовые и химические превращения;
- величиной термического сопротивления образующегося слоя пенококса, зависящего от его теплопроводности и толщины;
- способностью отражения (поглощения) падающего теплового потока поверхностью образующегося пенококса.

Для этого должны быть реализованы все физико-химические превращения покрытия: разложение, этерификация, плавление, карбонизация, вспенивание, отверждение вспененного слоя, озоление кокса.

Для вспенивающихся покрытий существует оптимальная рабочая толщина исходного покрытия, которая позволяет реализовать все необходимые превращения для обеспечения его огнезащитных свойств. Среди экспертов по огнезащитным материалам считается, что минимальная толщина вспенивающегося покрытия составляет около 300 мкм.

Однако нами было показано, что огнезащитные покрытия в зависимости от рецептурного решения способны вспениваться и обеспечивать определенные огнезащитные свойства при меньших толщинах исходного покрытия.

Как известно, огнезащитная эффективность покрытия вспенивающегося типа зависит от его исходной толщины и описывается эмпирической зависимостью*

$$t(T) = \tau_0 + \alpha h^{1/2},$$

где τ_0 — время нагрева металлической конструкции без покрытия до температуры $T = 500^\circ\text{C}$, мин;

α — константа;

h — толщина покрытия, мм (рис. 1).

Какова же минимальная толщина покрытия, способная создать теплоизолирующий слой кокса, обеспечив тем самым работоспособность покрытия в условиях стандартного пожара? Чтобы ответить на этот вопрос, мы изучили огнезащитные характеристики трех марок покрытий толщиной менее 500 мкм в лабораторных условиях.

* Ненахов С. А., Пименова В. П. Экспериментальное изучение влияния толщины вспенивающихся покрытий на огнезащитную эффективность // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 5. — С. 2–9.

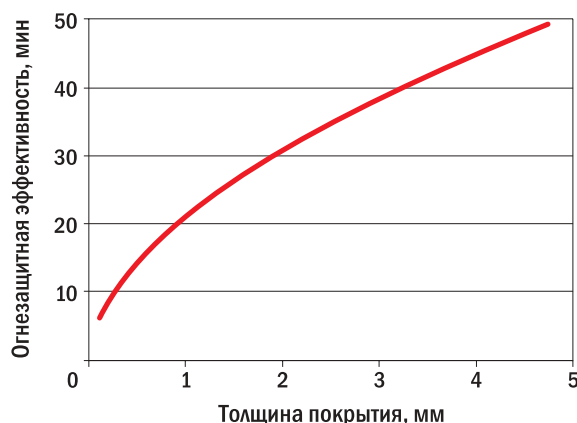


Рис. 1. Зависимость огнезащитной эффективности типичного покрытия вспенивающегося типа от его исходной толщины

В качестве объекта исследования были выбраны огнезащитные покрытия на основе огнезащитных красок, производимых нашей компанией:

- водно-дисперсионных красок НЕОФЛЭЙМ®513 (NEOFLAME®513) и ВУП-2;
- органоразбавляемой краски ВУП-3 Р.

Краски наносили на подготовленные стальные пластины размером 140×80×1 мм методом пневмораспыления в один слой. Покрытия сушили по режиму: $T = 20^\circ\text{C} - 24 \text{ ч}$, $T = 60^\circ\text{C} - 2 \text{ ч}$, $T = 20^\circ\text{C} - 24 \text{ ч}$, а затем испытывали на лабораторной установке, обеспечивающей режим нагрева в условиях стандартного пожара по методике определения теплоизолирующих свойств вспенивающихся покрытий, разработанной на основе методики ВНИИПО** с использованием «Инструкции определения теплоизолирующих свойств вспенивающихся покрытий по металлу» (М.: ВНИИПО, 1980). Результаты лабораторных испытаний приведены в табл. 1.

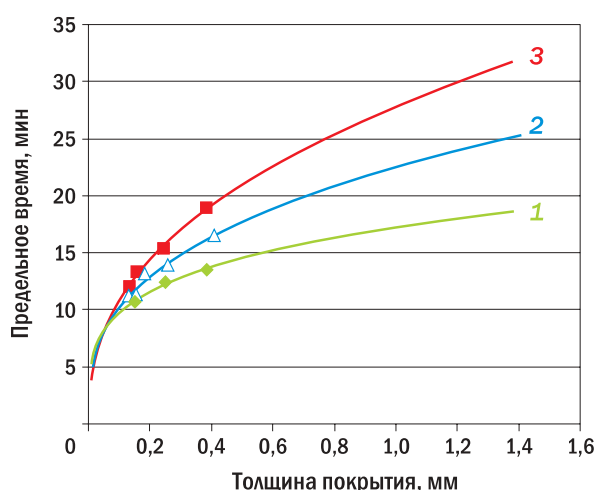
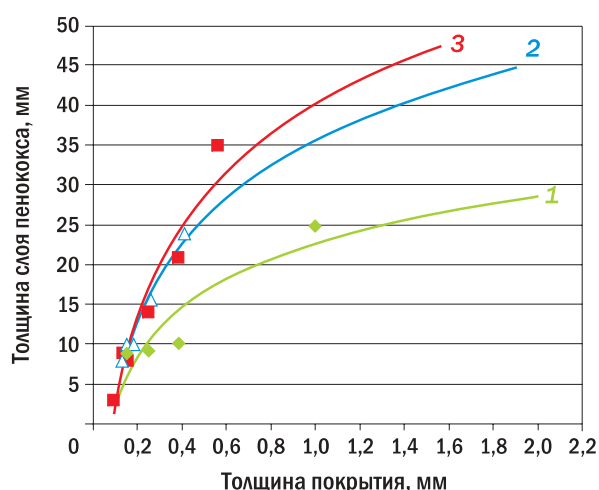
Графически зависимость огнезащитной эффективности (предельного времени $t(T)$) покрытия от его толщины показана на рис. 2.

Как видно из рис. 2, для покрытий характерна типичная эмпирическая зависимость огнезащитной эффективности от толщины сухого слоя. С ростом его толщины разница огнезащитной эффективности по-

** Баженов С. В., Наумов Ю. В., Мотина Л. В. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу. — М.: ВНИИПО, 1988.

Таблица 1. Огнезащитные характеристики вспенивающихся покрытий

Материал	Толщина сухого покрытия, мм	Время достижения 500 °С, мин	Высота слоя пенококса, мм	Толщина озоленного слоя, мм
ВУП-2	0,150	10,7	9	Отсутствует
	0,160	9,2	5	То же
	0,250	12,4	9,3	Слабо выражен
	0,387	13,5	10,3	То же
НЕОФЛЭЙМ®513	0,094	9,7	3	Отсутствует
	0,130	12,0	9	Слабо выражен
	0,158	14,4	8	1
	0,250	15,3	14	6
	0,380	18,9	21	11
ВУП-3 Р	0,132	12,2	8	Отсутствует
	0,153	11,3	10	Слабо выражен
	0,182	14,3	10	1
	0,259	13,9	15,7	2,7
	0,409	16,5	24	11

**Рис. 2.** Зависимость предельного времени $t(T)$ от толщины огнезащитного покрытия (лабораторные испытания): 1 — ВУП-2; 2 — ВУП-3 Р; 3 — НЕОФЛЭЙМ®513**Рис. 3.** Зависимость толщины слоя пенококса от толщины огнезащитного покрытия: 1 — ВУП-2; 2 — ВУП-3 Р; 3 — НЕОФЛЭЙМ®513

крытий увеличивается. При толщине покрытия порядка 60 мкм эта разница сводится к нулю.

При вспенивании покрытия образуется слой пенококса разной толщины, что обеспечивает и его различную теплоизолирующую способность. Кроме того, для каждого покрытия толщина слоя пенококса увеличивается с ростом толщины исходного покрытия.

Зависимость толщины вспененного слоя покрытия (пенококса) от толщины исходного покрытия показана на рис. 3. По мере роста толщины покрытия разница в эффективности вспенивания увеличивается. При толщине исходного покрытия порядка **100 мкм** все три материала в условиях стандартного пожара

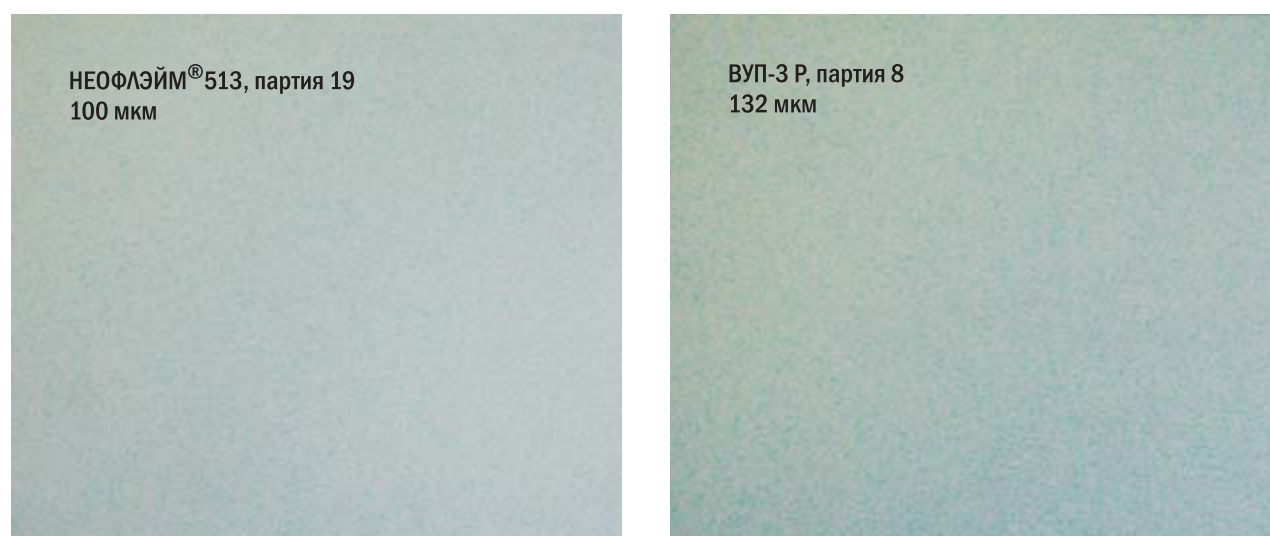
образуют слой пенококса толщиной **3 мм**. При этом коэффициент вспенивания* покрытия будет равен **30**.

Таким образом, огнезащитное покрытие толщиной 100 мкм (мы говорим только об огнезащитных покрытиях вспенивающегося типа) способно вспениваться и обладать определенной огнезащитной эффективностью. Конечно, для различных материалов толщина огнезащитного покрытия, способного вспениваться, будет разной в зависимости от рецептуры.

* Коэффициент вспенивания — отношение толщины образующегося слоя пенококса к толщине исходного покрытия.

Таблица 2. Результаты испытаний огнезащитных покрытий по ГОСТ Р 53295–2009

Материал	Приведенная толщина металла (ПТМ), мм	Толщина огнезащитного покрытия, мкм	Огнезащитная эффективность, мин	Коэффициент вспенивания
НЕОФЛЭЙМ®513	3,4	100	16	60
	3,4	230	25	107
ВУП-3 Р	3,4	140	17	71
	3,4	237	22	105

**Рис. 4.** Внешний вид тонкослойных огнезащитных покрытий

Испытания покрытий НЕОФЛЭЙМ®513 и ВУП-3 Р по ГОСТ Р 53295–2009 на двутавровых колоннах профиля № 20 подтвердили работоспособность огнезащитных покрытий толщиной менее 300 мкм, установленную в лабораторных испытаниях (табл. 2).

Покрытия НЕОФЛЭЙМ®513 и ВУП-3 Р толщиной соответственно 100 и 132 мкм имеют удовлетворительный внешний вид и обеспечивают полную укрывистость защищаемой стальной поверхности (рис. 4).

ВЫВОДЫ

1. При огневых испытаниях по ГОСТ Р 53295–2009 показана работоспособность огнезащитных покрытий НЕОФЛЭЙМ®513 (NEOFLAME®513) и ВУП-3 Р при толщине сухого слоя менее 300 мкм.

2. Огнезащитные покрытия НЕОФЛЭЙМ®513 (NEOFLAME®513) и ВУП-3 Р работоспособны при толщине сухого слоя соответственно 100 и 140 мкм и обеспечивают предел огнестойкости R15 для металлокон-

струкций с ПТМ = 3,4 мм. Результаты данных испытаний подтверждены сертификатами соответствия (№ C-RU.ПБ 05.В.00979 и № C-RU.ПБ 05.В.00978 соответственно).

3. Для огнезащитных материалов НЕОФЛЭЙМ®513 (NEOFLAME®513) и ВУП-3 Р толщину покрытия соответственно 100 и 140 мкм следует рассматривать как минимальную толщину огнезащитного покрытия, позволяющую реализовать все физико-химические превращения материала в условиях стандартного пожара и получить слой пенококса такой толщины, которая обеспечит определенный предел огнестойкости металлоконструкции в зависимости от приведенной толщины металла, в частности 15 мин при ПТМ = 3,4 мм.

В принципе, для различных огнезащитных материалов вспенивающегося типа минимальная работоспособная толщина покрытия будет разной в зависимости от рецептурного решения и технологических свойств материала.

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)

Е. В. СУЛЕЙКИН, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: skynet01@mail.ru)

УДК 614.841

НОВЫЙ ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Рассмотрены две характерные схемы термогазодинамической картины пожара при горении твердых и жидких горючих веществ и материалов в помещении. Разработана экспериментальная мелкомасштабная установка. Проведено сопоставление результатов расчетов среднеобъемной плотности монооксида углерода, полученных для полномасштабного помещения с использованием аналитического решения интегральной модели и зонной математической модели, с экспериментальными данными. Показано, что расчет плотностей токсичных газов в полномасштабном помещении можно проводить с учетом только экспериментальных зависимостей вышеуказанных среднеобъемных плотностей от среднеобъемной температуры без использования удельных коэффициентов выделения токсичных газов.

Ключевые слова: пожар; горение; токсичные газы; подобие; коэффициент теплопотерь.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20

Введение

По статистике более чем в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах является отравление продуктами горения [1, 2], поэтому математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре представляет собой весьма актуальную задачу [3–5].

В настоящее время математические модели расчета динамики опасных факторов пожара (в том числе концентраций токсичных продуктов горения) в помещении получили достаточное развитие для решения практических задач пожарной безопасности, в частности расчета пожарных рисков [6].

Исходные данные по выделению токсичных продуктов горения представлены, например, в учебном пособии [7] и в монографии [5]. Однако приведенные в этих работах (как и в других публикациях) базы данных по свойствам горючих материалов имеют два основных недостатка:

- ограничено количество токсичных газов (CO , CO_2 и HCl — в [7], дополнительно к [7] для ряда горючих материалов в [5] приведены данные по выделению HCN , NO_x , $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$);
- ограничено количество горючих веществ и материалов.

В связи с расширением использования в строительстве новых материалов и изделий, в том числе на основе полимеров, горение и тление которых со-

провождается выделением большого количества токсичных продуктов горения, получение исходных данных по выделению токсичных газов становится все более актуальной проблемой.

Количество выделяющихся при пожаре токсичных газов определяется химическим составом и концентрацией газообразных продуктов газификации твердых и жидких горючих веществ и материалов, а также термогазодинамическими условиями пожара [2, 7].

В настоящее время эта проблема все еще не решена с теоретической и экспериментальной точек зрения из-за сложности физико-химических условий протекания процессов газификации и горения, а также неопределенности химического состава современных строительных материалов. Кроме того, экспериментально найденные значения удельных коэффициентов образования токсичных газов получены, как правило, в результате мелкомасштабных экспериментов, которые не воспроизводят полномасштабных термогазодинамических условий протекания пожара в реальных помещениях.

В настоящей работе, являющейся продолжением работ [5, 8, 9], представлены результаты экспериментального и теоретического исследования зависимости массовых концентраций токсичных газов (на примере монооксида углерода) от температуры смесей продуктов горения и воздуха, образующихся

в мелкомасштабной экспериментальной установке, а также рассмотрения возможности распространения полученных данных на реальное полномасштабное помещение без использования удельных коэффициентов выделения токсичных газов.

Постановка задачи

Рассмотрим две характерные схемы термогазодинамической картины пожара в помещениях с существенно различающимися размерами при горении твердых и жидких горючих веществ и материалов:

- схема № 1 — процесс горения с использованием вытяжной вентиляции для удаления продуктов горения из мелкомасштабной камеры (рис. 1,а);
- схема № 2 — пожар в полномасштабном помещении с малой проемностью или на начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение газовой среды помещения наружу (рис. 1,б).

В качестве токсичного газа будем рассматривать монооксид углерода.

Необходимо определить экспериментальные и теоретические зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры газовой среды при пожаре в рассматриваемых мелко- и крупномасштабных помещениях.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Камера сгорания 1 соединена с экспозиционной камерой 2 переходным рукавом 3, оснащенным устройством теплового блокирования. В камере установлен экранированный электронагре-

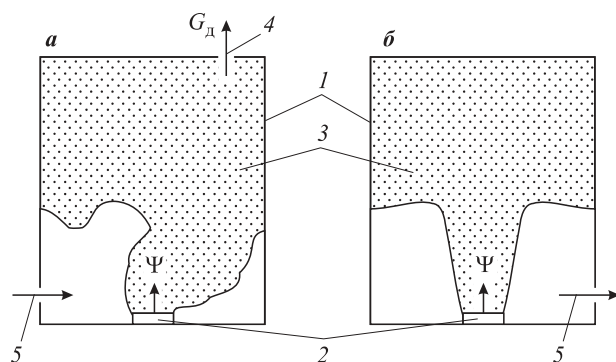


Рис. 1. Схема тепломассообмена в мелкомасштабной камере при работе вытяжной вентиляции (а) и в полномасштабном помещении с малой проемностью или на начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение газовой среды помещения наружу (б): 1 — ограждающие конструкции; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха; 4 — система дымоудаления; 5 — направление движения воздуха через открытый проем; G_d — массовый расход системы дымоудаления, кг/с; Ψ — скорость газификации горючего материала, кг/с

вательный излучатель 4 и держатель образца 5 на подвижной основе.

Камера сгорания объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной $2,0 \pm 0,1 \text{ мм}$. На боковой стенке камеры имеется окно из кварцевого стекла для наблюдения за образцом при испытаниях, а также шиберные отверстия для изменения режима испытания.

Экспозиционная камера представляет собой кубический объем ($0,5887 \text{ м}^3$) с конусообразной верхней частью. На двух боковых стенках камеры установлены шиберные отверстия.

Держатель образцов размещен на электронных весах (с погрешностью не более $\pm 1 \text{ мг}$), расположенных на специальном подвижном столе 7.

Рабочий участок 12 для измерений представляет собой стальную трубу с внутренним диаметром 50 мм, соединенную с экспозиционной камерой. За рабочим участком расположен вентилятор 13 с регулируемым расходом газовой смеси, удаляемой из экспозиционной камеры.

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере и на рабочем участке использовалась низкоинерционная бронированная термопара 14 с диапазоном измерений от минус 40 до $+1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 1,5t \text{ }(^{\circ}\text{C})$.

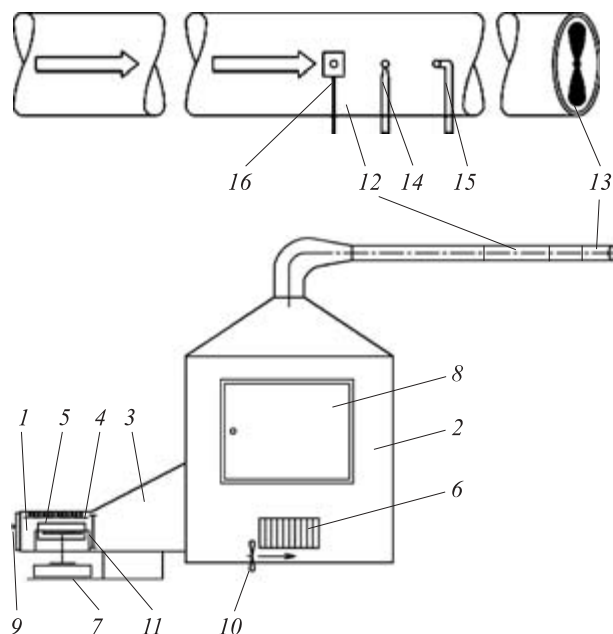


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходной рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — стол для весов; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава; 12 — рабочий участок; 13 — вентилятор; 14 — термопара; 15 — зонд газоанализатора (для измерения концентраций CO , CO_2 и O_2); 16 — зонд термоанемометра (для измерения скорости газового потока)

Для контроля плотности теплового потока, падающего на образец, подвергаемый испытаниям, применяются водоохлаждаемый датчик типа Гордона и регистрирующий прибор с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышает $\pm 8\%$.

Для непрерывного контроля состава газовой среды на рабочем участке используется многоканальный газоанализатор (на рис. 2 указан его измерительный зонд 15), измеряющий концентрацию оксида углерода в диапазоне от 0 до 1 % об. с допустимой погрешностью $\pm 10\%$, диоксида углерода — от 0 до 5 % об. с допустимой погрешностью $\pm 10\%$, кислорода — от 0 до 21 % об. с допустимой погрешностью $\pm 10\%$.

Скорость движения газовой смеси вдоль оси симметрии рабочего участка измеряется с помощью термоанемометра (на рис. 2 указан его измерительный зонд 16) в диапазоне от 0,1 до 30 м/с с погрешностью измерений $\pm 0,5$ м/с.

Горючие материалы испытывались в режиме пламенного горения, который обеспечивается при температуре испытания 750°C и плотности падающего теплового потока 60 кВт/м^2 .

Предварительно взвешенный образец материала, имеющий комнатную температуру, помещают в держатель образца (вкладыш). С момента выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим открывают заслонку переходного рукава и дверцу камеры сгорания. Вкладыш с образцом без задержки помещают в держатель образца, после чего дверцу камеры сгорания закрывают.

В процессе испытаний на рабочем участке (см. рис. 2) в режиме постоянного мониторинга фиксируются на оси симметрии проточной части (рабочий участок) показания концентраций (% об.) CO , CO_2 , O_2 , температуры, скорости течения газовой смеси и изменение массы образца.

Интегральная модель расчета теплообмена

В работе [8] показано, что среднеобъемная плотность токсичного газа может быть описана зависимостью

$$\rho_{г.ср} = K(L_{г.}/Q_{н}^p), \quad (1)$$

где $\rho_{г.ср}$ — среднеобъемная плотность токсичного газа, кг/м^3 ;

K — коэффициент пропорциональности между среднеобъемной плотностью токсичного газа и отношением $L_{г.}/Q_{н}^p$, Дж/м^3 ;

$L_{г.}$ — удельный коэффициент образования токсичного газа;

$Q_{н}^p$ — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг .

Коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и площади открытой поверхности горючего материала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара [8]:

$$K = f(T_{ср}, T_{в}, \varphi), \quad (2)$$

где $T_{ср}$ — среднеобъемная температура газовой среды, K ;

$T_{в}$ — температура воздуха в помещении, K ;

φ — коэффициент теплопотерь, равный доле теплоты, выделившейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции помещения из всего объема помещения.

Для схем пожара № 1 и № 2 [8]

$$K = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{ср} - T_{в}}{T_{ср}}. \quad (3)$$

Приняв $K/Q_{н}^p = \rho^*$, преобразуем выражение (1) к виду:

$$\rho_{г.ср} = \rho^* L_{г.}, \quad (4)$$

где ρ^* — характерная плотность, зависящая только от теплофизических параметров пожара и горючего материала, кг/м^3 .

Зонная модель расчета теплообмена

Используется трехзонная модель для начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение воздуха помещения наружу. Объем помещения разбит на три зоны: конвективную колонку, припотолочный слой и зону холодного воздуха [7].

Высота нижней границы припотолочного слоя находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя без учета действия работы системы дымоудаления и приточной вентиляции [7]:

$$\frac{dz_{к}}{d\tau} = -\frac{G_{к}}{\rho_{в} F_{п}} - \frac{Q_{пж}(1 - \varphi)}{c_p \rho_{в} T_{в} F_{п}}, \quad (5)$$

где $z_{к}$ — расстояние от открытой поверхности горючего материала до нижней границы припотолочного слоя, м ;

τ — время, с ;

$G_{к}$ — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочный слой, кг/с ;

$\rho_{в}$ — плотность воздуха в помещении, кг/м^3 ;

$F_{п}$ — площадь потолка помещения, м^2 ;

$Q_{пж}$ — скорость тепловыделения в помещении, Вт ; $Q_{пж} = \eta \psi_{уд} Q_{н}^p F_{г.}$;

η — полнота сгорания;

$\psi_{уд}$ — удельная скорость газификации горючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $\psi_{уд} = \Psi/F_r$;

F_r — площадь открытой поверхности горючего материала, охваченной горением, м^2 ;

c_p — удельная изобарная теплоемкость смеси газов, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Начальное условие (при $\tau = 0$) имеет вид: $z_k = H - \delta$ (где H — высота помещения, м; δ — толщина слоя масла или образца древесины, м).

Массовый расход в сечении конвективной колонки определяется по формулам [10]:

- при $z > z_{пл}$:

$$G = 0,071 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{1/3} z^{5/3} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{пож} (1 - \chi); \quad (6)$$

- при $z \leq z_{пл}$:

$$G = 0,032 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{3/5} z, \quad (7)$$

где z — координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от открытой поверхности горючего материала, м;

$z_{пл}$ — высота пламенной зоны, м;

$$z_{пл} = 0,166 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{2/5};$$

χ — коэффициент теплопотерь из зоны конвективной колонки;

G — расход смеси газов через сечение колонки, находящееся на высоте z , $\text{кг}/\text{с}$.

Средняя температура в сечении конвективной колонки T_k (К) определяется по формуле [7]:

$$T_k = T_b + \frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{c_p G}. \quad (8)$$

Средняя плотность и температура смеси газов в припотолочном слое находятся из решения соответственно дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа [7]:

$$\frac{d(\rho_{пс} V_{пс})}{d\tau} = G_k; \quad (9)$$

$$p_{пс} = \rho_{пс} R T_{пс} \approx p_b, \quad (10)$$

где $\rho_{пс}$ — средняя плотность газовой смеси в припотолочном слое, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$V_{пс}$ — объем зоны припотолочного слоя, м^3 ;

$p_{пс}$ — среднее давление в зоне припотолочного слоя, Па;

R — газовая постоянная (принимается, что газовые постоянные воздуха и смеси продуктов горения с воздухом равны [7]), $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

$T_{пс}$ — средняя температура газовой смеси в припотолочном слое, К;

p_b — давление наружного воздуха при $z = 0$, Па.

Средняя плотность токсичного газа в припотолочном слое определяется из закона сохранения массы указанного выше газа [7]:

$$\frac{d(\rho_{г.пс} V_{пс})}{d\tau} = \Psi L_r, \quad (11)$$

где $\rho_{г.пс}$ — средняя плотность токсичного газа в припотолочном слое, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Ψ — скорость газификации горючего материала, $\text{кг}/\text{с}$.

Уравнения (5), (9) и (11) решаются численным методом Рунге–Кутты 4-го порядка точности [11].

Исходные данные

Размеры полномасштабных помещений принимались равными $5 \times 5 \times 15$, $10 \times 10 \times 10$ и $20 \times 20 \times 25$ м.

Рассматривались следующие горючие материалы [7]:

- твердая горючая нагрузка — хвойные древесные стройматериалы: $Q_n^p = 13,8$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,0063$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $w_d = 0,0585$ м/с; $L_{CO} = 0,024$ (где w_d — линейная скорость распространения пламени по поверхности твердого горючего материала, м/с; L_{CO} — удельный коэффициент образования оксида углерода);
- жидкая горючая нагрузка — масло трансформаторное: $Q_n^p = 41,9$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,03$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $L_{CO} = 0,122$; $\tau_{ст} = 10$ мин или $\tau_{ст} = 20$ мин (где $\tau_{ст}$ — время стабилизации горения, мин).

При расчете полномасштабного помещения коэффициент теплопотерь ϕ принимался равным 0,6. В случае мелкомасштабного помещения среднее за время испытаний значение ϕ определялось из расчета с использованием полной системы уравнений интегральной модели [6].

Начальные условия задавались следующими: $T_b = 293$ К; $p_b = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Результаты численных и натурных экспериментов и их анализ

Численные и натурные эксперименты проводились до температуры газовой смеси внутри помещений, не превышающей критического значения для человека, равного 70°C [7]. При температуре выше 70°C человек гибнет от теплового ожога.

Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от повышения среднеобъемной температуры представлены на рис. 3 для случая горения хвойных древесных стройматериалов, на рис. 4 — для случая горения трансформаторного масла.

Из анализа данных на рис. 3 для случая горения хвойных древесных материалов можно сделать следующие выводы:

- отличие значений плотности монооксида углерода, полученных при одинаковом повышении

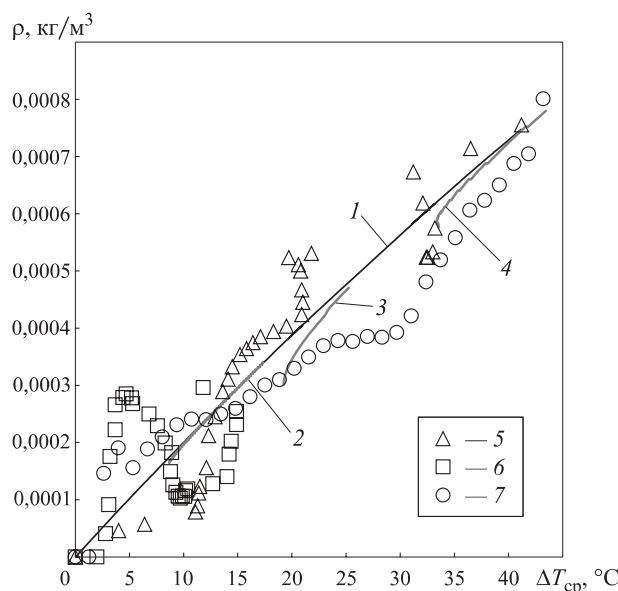


Рис. 3. Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от повышения среднеобъемной температуры при горении хвойных древесных стройматериалов, полученные теоретически (1–4) и экспериментально (5–7): 1 — формула (4) ($\varphi = 0,9$); 2 — зонная модель ($20 \times 20 \times 25 \text{ м}$, $\varphi = 0,6$); 3 — зонная модель ($5 \times 5 \times 15 \text{ м}$, $\varphi = 0,6$); 4 — зонная модель ($10 \times 10 \times 10 \text{ м}$, $\varphi = 0,6$); 5 — $W_{\text{вт}} = 0,007 \div 0,0133 \text{ м}^3/\text{с}$, $\varphi = 0,9$; 6 — $W_{\text{вт}} = 0,005 \div 0,009 \text{ м}^3/\text{с}$, $\varphi = 0,97$; 7 — при естественном дымоудалении, $\varphi = 0,92$; $W_{\text{вт}}$ — объемный расход вентилятора экспериментальной установки, $\text{м}^3/\text{с}$; $\Delta T_{cp} = T_{cp} - T_{\text{в}}$ — повышение среднеобъемной температуры, $^\circ\text{C}$

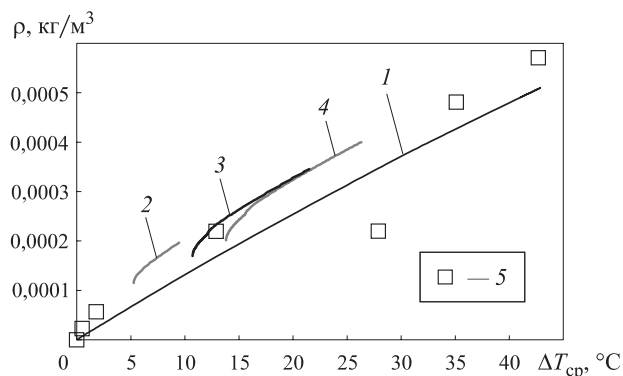


Рис. 4. Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от повышения среднеобъемной температуры при горении масла трансформаторного, полученные теоретически (1–4) и экспериментально (5): 1 — формула (4) ($\varphi = 0,75$); 2 — зонная модель ($10 \times 10 \times 10 \text{ м}$, $\varphi = 0,6$, $\tau_{\text{ст}} = 20 \text{ мин}$); 3 — зонная модель ($10 \times 10 \times 10 \text{ м}$, $\varphi = 0,6$, $\tau_{\text{ст}} = 10 \text{ мин}$); 4 — зонная модель ($5 \times 5 \times 15 \text{ м}$, $\varphi = 0,6$, $\tau_{\text{ст}} = 10 \text{ мин}$); 5 — $W_{\text{вт}} = 0,001 \div 0,0098 \text{ м}^3/\text{с}$, $\varphi = 0,75$

температуры с использованием интегрального подхода (выражение (4), кривая 1) и зонной математической модели (кривые 2–4), не превышает 12 %;

- плотность монооксида углерода, полученная с использованием формулы (4) (кривая 1), совпадает с экспериментальными данными, представ-

ленными кривыми 5 и 7, с достоверностью 0,831, кривой 6 — с достоверностью 0,032.

Отличие теоретического значения плотности СО от экспериментального можно объяснить влиянием двух факторов:

- удельный коэффициент образования СО принимался по базе данных [7], а не был измерен непосредственно в экспериментах;
- коэффициент теплопотерь в экспериментальной установке принимался средним за время проведения расчетов.

Из анализа данных на рис. 4 для случая горения трансформаторного масла можно сделать следующие выводы:

- отличие значений плотности монооксида углерода, полученных при одинаковом повышении температуры с использованием интегрального подхода (выражение (4), кривая 1) и зонной математической модели (кривые 2–4), не превышает 17 %;
- плотность монооксида углерода, полученная с использованием формулы (4) (кривая 1), совпадает с экспериментальными данными (кривая 5) с достоверностью 0,894.

Из вышесказанного можно сделать заключение, что результаты экспериментальных исследований в мелкомасштабном помещении для рассмотренных исходных данных можно распространять на крупномасштабное помещение при допустимых погрешностях, указанных выше. В дальнейшем по мере отладки экспериментальной установки значения L_{CO} и φ будут уточняться.

Заключение

Предложен новый подход к расчету концентраций токсичных продуктов горения при пожаре в полномасштабном помещении с помощью интегральной и зонной моделей термогазодинамики пожара, в котором в отличие от традиционного [6, 7, 12, 13] не используются удельные коэффициенты выделения токсичных газов. Новый метод заключается в следующем:

- проводится исследование рассматриваемого горючего материала в предложенной мелкомасштабной экспериментальной установке с целью получить зависимости среднеобъемных плотностей токсичных газов от температуры (до $70 ^\circ\text{C}$);
- выполняется расчет зависимости среднеобъемной температуры (интегральная модель) или среднеобъемной температуры припотолочного слоя (зонная модель) от времени с начала пожара с уточнением коэффициента теплопотерь;
- для каждого момента времени пожара по расчетной среднеобъемной температуре или среднеобъемной температуре припотолочного слоя

определяются соответствующие среднеобъемные плотности токсичных газов по полученным экспериментальным зависимостям с поправкой на коэффициент теплопотерь в полномасштабном помещении.

Для повышения точности расчетов необходимо определять удельный коэффициент образования токсичного газа и коэффициент теплопотерь непосредственно при проведении экспериментов на предложенной экспериментальной установке.

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. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов: Принципы и методы определения. — СПб. : Химия, 1993. — 136 с.
3. NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2003. — P. 269-1–269-18.
4. Levin B. C. New research avenues in toxicology: 7-gas N-gas model, toxicant suppressants, and genetic toxicology // Toxicology. — 1996. — Vol. 115, No. 1-3. — P. 89–106. DOI: 10.1016/s0300-483x(96)03497-x.
5. 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.
6. 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.
7. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
8. Пузач С. В., Пузач В. Г., Доан В. М. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 4–13.
9. Пузач С. В., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г., Дутов В. И. Повышение достоверности экспериментальных методов определения показателя токсичности веществ и материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 29–37.
10. NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1990.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1968. — 720 с.
12. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator (Version 6). NIST Special Publication 1018. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. — 149 p.
13. Welch S., Rubini P. SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide. — United Kingdom, Cranfield : Cranfield University, 1996. — 340 p.

Материал поступил в редакцию 21 декабря 2015 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Сулейкин Е. В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.

English

NEW UNITED THEORETICAL AND EXPERIMENTAL APPROACH TO THE CALCULATION OF THE DISTRIBUTION OF TOXIC GASES IN CASE OF FIRE IN THE ROOM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker 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)

SULEYKIN E. V., Lecturer, Fire Safety in Building Department,
State Fire Academy of Emercom of Russia (Boris Galushkina St., 4,
Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: skynet01@mail.ru)

ABSTRACT

There are considered two typical schemes of the thermodynamic picture of the fire when burning solid and liquid combustible substances and materials: the combustion process with the use of exhaust ventilation to remove combustion products from small-scale chamber and fire in a full-scale room with a small square of holes or at the initial stage of fire, when through the openings occurs only a displacement of the gaseous environment of the room to the outside.

It is presented the analytical dependence for the calculation of the average volume density of toxic gas in the case of the above mentioned schemes of fire development. It is shown that the density does not depend on the properties of the combustible material, the size of the room and exposed surface area of combustible material.

Three-zone mathematical model of initial stage of fire in the room is described.

Small-scale pilot plant is created for realizing the combustion process with the use of exhaust ventilation to remove products of combustion.

The results of calculations of the carbon monoxide density, obtained for full-scale fire using analytical solution of the integral model and zonal mathematical model, are compared with the experimental data.

It is shown that the calculations of densities of toxic gases in full-scale room can be performed taking into account only the experimental dependencies of the above mentioned densities from the temperature without using specific coefficients for the release of toxic gases. The accuracy of such calculations is sufficient to solve practical problems.

On the basis of obtained results it is suggested a new approach to the calculation of the spread of toxic combustion products during a fire in a full-scale room, which, unlike traditional, is the following:

- it is conducted experimental research of combustible material in the proposed small-scale pilot plant with the aim of obtaining dependencies between average volume densities of toxic gases and temperature (up to 70 °C);
- dependencies volumetric average temperature (integral model) or volumetric average temperature of under ceiling layer (zonal model) on the time the fire started are calculated, as well as the value of the coefficient of heat losses;
- the corresponding average volumetric densities of toxic gases are defined by the corresponding obtained experimental curves using the calculated average volume temperature or average volume temperature of under ceiling layer for each point in time of fire.

Keywords: fire; burning; toxic gases; similarity; heat losses coefficient.

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. cand. med. sci. diss.]. Saint Petersburg, 1990. 24 p.
2. Ilichkin V. S. *Toksichnost produktov goreniya polimernykh materialov: Printsipy i metody opredele-niya* [Toxicity of combustion products of polymeric materials: Principles and methods of determination]. Saint Petersburg, Khimiya Publ., 1993. 136 p.
3. *NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2003, pp. 269-1–269-18.
4. Levin B. C. New research avenues in toxicology: 7-gas N-gas model, toxicant suppressants, and genetic toxicology. *Toxicology*, 1996, vol. 115, no. 1-3, pp. 89–106. DOI: 10.1016/s0300-483x(96)03497-x.
5. Puzach S. V., Smagin A. V., Lebedchenko O. S., Abakumov E. S. *Novyye predstavleniya o raschete ne-obkhodimogo 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.

6. 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.
7. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
8. Puzach S. V., Puzach V. G., Doan V. M. K opredeleniyu pokazatelya toksichnosti produktov goreniya goryuchikh veshchestv i materialov v pomeshchenii [To definition of toxic potency of combustion products of combustible materials in compartment]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 4–13.
9. Puzach S. V., Suleykin E. V., Akperov R. G., Dutov V. I. Povysheniye dostovernosti eksperimentalnykh metodov opredeleniya pokazatelya toksichnosti veshchestv i materialov [Increasing the validity of experimental definition of substance and material toxic potency]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 29–37.
10. *NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 1990.
11. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 720 p.
12. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator (Version 6)*. National Institute of Standards and Technology. Special Publication 1018. Gaithersburg, 2013. 149 p.
13. Welch S., Rubini P. *SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide*. United Kingdom, Cranfield, Cranfield University, 1996. 340 p.

For citation: Puzach S. V., Suleykin E. V. Novyy teoretiko-eksperimentalnyy podkhod k raschetu rasprostraneniya toksichnykh gazov pri pozhare v pomeshchenii [New united theoretical and experimental approach to the calculation of the distribution of toxic gases in case of fire in the room]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.



“УМНАЯ БАТАРЕЙКА” ДЛЯ ПОЖАРНЫХ СИГНАЛИЗАЦИЙ

9-вольтовая батарейка типоразмера PP3 задумана в качестве “умной” альтернативы обычным батарейкам, которыми комплектуются датчики задымления и пожарная сигнализация. В отличие от последних Roost оборудована модулем беспроводной связи и парой полезных датчиков. При срабатывании сигнализации “умная батарейка” высылает на смартфон хозяина тревожное сообщение, дублируя его сигналом в ближайшую экстренную службу. Кроме того, Roost умеет предупреждать владельца, когда заряд батарейки снижается до критического уровня и сигнализация вот-вот “уснет”.

<http://habrahabr.ru/company/madrobots/blog/248251/>

А. И. НЕДОБИТКОВ, канд. техн. наук, доцент, кафедра информатики и математики, Казахский гуманитарно-юридический инновационный университет (Республика Казахстан, 070014, г. Усть-Каменогорск, ул. Астана, 48; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

УДК 656.13;614.84

ФРАКТОГРАФИЯ ИЗЛОМОВ МЕДНЫХ ПРОВОДНИКОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Приведены результаты исследования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV образцов медных проводников электрической сети с напряжением 12 В, подвергшихся внешнему высокотемпературному воздействию, токовой перегрузке и вторичному короткому замыканию. Даны снимки поверхностей изломов медных проводников, подвергшихся воздействию тока короткого замыкания и высоких температур. Установлены характерные диагностические признаки, позволяющие идентифицировать причину повреждения при пожаре (высокотемпературное воздействие, токовая перегрузка или вторичное короткое замыкание) медных проводников в электрической цепи с напряжением 12 В. Установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля, поврежденного в результате термовоздействия.

Ключевые слова: короткое замыкание; токовая перегрузка; вторичное короткое замыкание; медь; растровая электронная микроскопия; медный проводник; фрактография; виды изломов; диагностический признак; пожарно-техническая экспертиза.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27

Введение

Пожары причиняют значительный материальный ущерб, связанный с уничтожением или повреждением имущества, гибелью и ранением людей. Ущерб от пожаров в промышленно развитых странах превышает 1 % национального дохода и имеет тенденцию к постоянному росту [1–3]. Пожары автотранспортных средств относятся к особо тяжелым происшествиям. В частности, в промышленно развитых странах пожары автомобилей составляют от 5 до 15 % от общего числа пожаров, при этом гибель людей достигает от 6 до 12 % от общего числа погибающих при пожарах. В связи с этим проблема повышения пожарной безопасности автотранспортных средств очень актуальна [4–6].

Данное обстоятельство подтверждается мировой практикой отзыва автотранспортных средств, в частности отзыва по всему миру 6,5 млн. автомобилей в октябре 2015 г. автоконцерном “Toyota” в связи с неисправностью электростеклоподъемника, которая может привести к возгоранию автотранспортного средства. Как сообщает РИА “Новости”, отзыв коснется моделей “Vitz”, “Ractis” и “Belta” выпуска 2005–2010 гг., а также “Corolla Rumion” и “Ist” выпуска 2008–2010 гг.

По данным “Associated Press”, в октябре 2015 г. японский концерн “Mazda” отзывает по всему миру 4,9 млн. автомобилей из-за заводского брака, который может привести к перегреву и воспламенению

электроконтактов в гнезде зажигания. Речь идет о моделях “Mazda Protege”, MX-3 и MX-6, которые были произведены с 1989 по 1998 годы. И этот перечень можно продолжить.

Таким образом, разработка мероприятий по предотвращению пожаров на автотранспорте имеет важное значение. Одним из видов профилактических мероприятий является пожарно-техническая экспертиза.

По мнению автора [7], экспертиза пожаров основана на комплексе специальных знаний, необходимых для исследования места пожара, отдельных конструкций, материалов, изделий и их обгоревших остатков в целях получения информации, необходимой для установления очага пожара, его причины, путей распространения горения, природы обгоревших остатков, а также для решения некоторых других задач, возникающих в ходе анализа причин, вызвавших пожар.

Следует указать, что подавляющее число выводов судебных экспертов относительно технических причин возникновения пожаров на автотранспорте носит предположительный (вероятностный) характер, что не позволяет разрабатывать и внедрять конкретные инженерные решения [8]. Это можно объяснить многими причинами, в том числе отсутствием научно обоснованных методик.

Как наглядно показано автором [7], если в очаговой зоне обнаружены характерные признаки раз-

рушения токоведущих проводов, то неизбежно возникает вопрос о первичности или вторичности короткого замыкания. По мнению многих авторов, данный вопрос далеко не простой. Попытки решить его с помощью инструментальных методов криминалисты предпринимали еще в 50-х годах прошлого столетия [7].

Ряд интересных решений имеется в публикациях [9–12]. Особенно хотелось бы отметить практическую значимость работы [12], в которой на основе экспериментальных данных фактически каталогизированы различные виды аварийных режимов медных проводников, тем не менее в этой области знания еще остается много “белых пятен”.

Необходимо отметить, что в работе [7] указывается простой метод исследования — испытание медного проводника на изгиб, что позволяет выявить зоны с различной внутренней структурой. Этот метод часто используют судебные эксперты при визуальном осмотре медных проводников: если медный проводник разрушается при однократном изгибе, то он заслуживает пристального внимания.

Общеизвестно, что исследование изломов материалов занимается фратография (от лат. *fractis* — излом) — наука о строении поверхностей разрушения [13]. В рамках этой области накоплен большой фактический материал, в частности разработаны “Методические указания. Классификация видов изломов металла” (РД 50-672–88).

В настоящей статье рассматриваются фактические примеры исследования поверхности изломов медных проводников, подвергшихся высокотемпературному воздействию, токовой перегрузке или вторичному короткому замыканию. Короткое замыкание инициировалось в месте соприкосновения разнополярных проводов или медного провода и металлической пластины при разрушении изоляции от внешнего источника по схеме 3 [6] или по схеме 2 (Direct Flame Testing Setup) [12]. Медные проводники, подвергшиеся высокотемпературному воздействию, изымались из сгоревших автомобилей, при-

чина возгорания которых не была связана с аварийным режимом электрической цепи.

Исследования проводились в Региональной университетской лаборатории инженерного профиля “ИРГЕТАС” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV. Поверхности изломов медных проводников подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

Визуальное исследование медных проводников

Фрагменты медных проводников, представленные на рис. 1, имеют классические признаки, описанные в работах [6, 7, 14] для случаев высокотемпературного воздействия, вторичного короткого замыкания и токовой перегрузки. Необходимо отметить, что согласно данным [15] при температурах до 100 °С на поверхности меди образуется пленка оксида меди черного цвета. При более высоких температурах скорость окисления меди значительно возрастает и на поверхности образуется пленка геммоксида меди красного цвета. В работе [15] приводятся данные по воздействию нагрева на микроструктуру меди. В частности, отмечается, что при температуре нагрева 270 °С имеет место неполная рекристаллизация, 450 °С — законченная полностью рекристаллизация, 600 °С — укрупнение зерна вследствие собирательной рекристаллизации, 1000 °С — сильное укрупнение зерна, обусловленное собирательной рекристаллизацией [15]. Общепринято считать, что среднеобъемная температура во второй фазе пожара легкового автомобиля достигает 850–950 °С, поэтому в настоящей статье под высокотемпературным воздействием подразумевается именно этот диапазон.

Так, у проводников, подвергшихся высокотемпературному воздействию (см. рис. 1, а), отмечается как наличие слоя окалины, которая не удаляется при протирании этиловым спиртом, так и разделение жил с изломом проводников при изгибе [6, 7, 14].

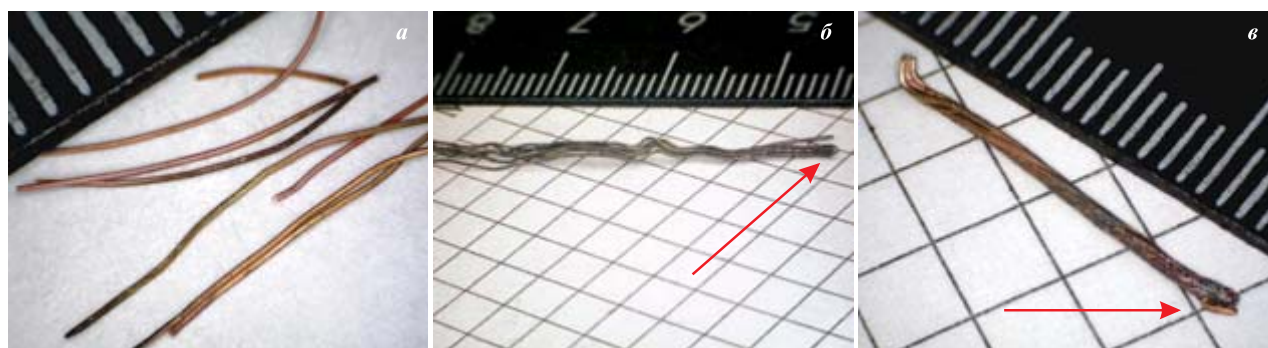


Рис. 1. Общий вид фрагментов медных проводников, подвергшихся высокотемпературному воздействию (а), вторичному короткому замыканию (б) и токовой перегрузке (в)

У проводников, подвергшихся вторичному короткому замыканию (см. рис. 1,б), имеются оплавления округлой формы, при этом сечение проводника меняется на небольшом участке вблизи оплавления [6, 7, 14]. У проводников, подвергшихся токовой перегрузке (см. рис. 1,в), отмечается спекание проволок в жиле, а зона оплавления колеблется приблизительно в пределах 10 мм, что существенно отличается от случая местного разрушения проводника при коротком замыкании. Утолщение округлой формы, как и при коротком замыкании, располагается на конце проводника, в пределах же зоны оплавления наблюдается уменьшение поперечного сечения [6, 7, 14].

Морфологический анализ методом растровой электронной микроскопии

В ходе проведения морфологического исследования образца медного проводника, подвергнутого высокотемпературному воздействию, при помощи растрового микроскопа JSM-6390LV установлено наличие на поверхности излома микрорельефа в виде ямок или сот (рис. 2).

Согласно РД 50-672–88 сотовый рельеф представляет собой микрорельеф поверхности разрушения в виде мелких плоских ямок. Указанный микрорельеф свидетельствует о малой доле локальной пластической деформации и часто встречается при разрушении литых материалов. В свою очередь, согласно РД 50-672–88 ямки — это микроуглубления на поверхности разрушения, представляющие собой вскрытые поверхности микропустот, образующихся в процессе пластического течения металла.

Согласно РД 50-672–88 вязкий излом — излом, при котором разрушение осуществляется по механизму слияния микропустот, признаком которого является наличие элементов микрорельефа в виде ямок.

Таким образом, показано, что при механическом разрушении жилы медного проводника, подвергнутого высокотемпературному воздействию, на поверхности его излома имеются признаки вязкого излома в виде сотового рельефа с деформацией отдельных сот. По терминологии микротрасологии сотовый рельеф является микроследом, наглядно доказывающим наличие внешнего высокотемпературного воздействия на исследуемый медный проводник.

При исследовании при помощи растрового микроскопа JSM-6390LV образца медного проводника, подвергнутого вторичному короткому замыканию, вблизи зоны оплавления установлено наличие раскрывшихся трещин, на внутренних стенках которых имеются микропоры (рис. 3).

Необходимо отметить, что в металлургии пористость является дефектом поверхности в виде точечных углублений, расположенных по всей поверхности, или скоплений на ее отдельных участках,

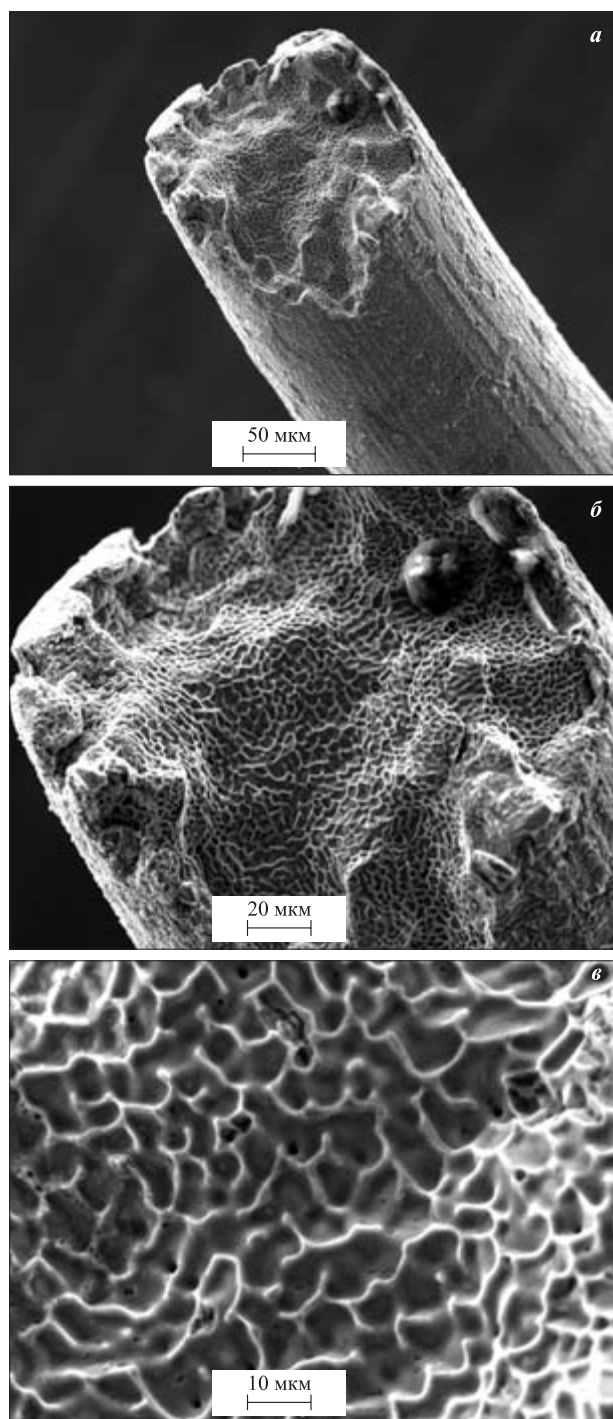


Рис. 2. Вид поверхности излома медного проводника, подвергнутого высокотемпературному воздействию при увеличении 300 $\times$ (а), 650 $\times$ (б) и 2300 $\times$ (в)

образовавшихся в результате повышенного газонасыщения металла. В свою очередь, известно, что расплавленная медь хорошо растворяет водород, который выделяется в процессе кристаллизации (при большой скорости охлаждения из-за высокой теплопроводности), вследствие чего образуется пористость.

Таким образом, показано, что при механическом разрушении жилы медного проводника, подверг-

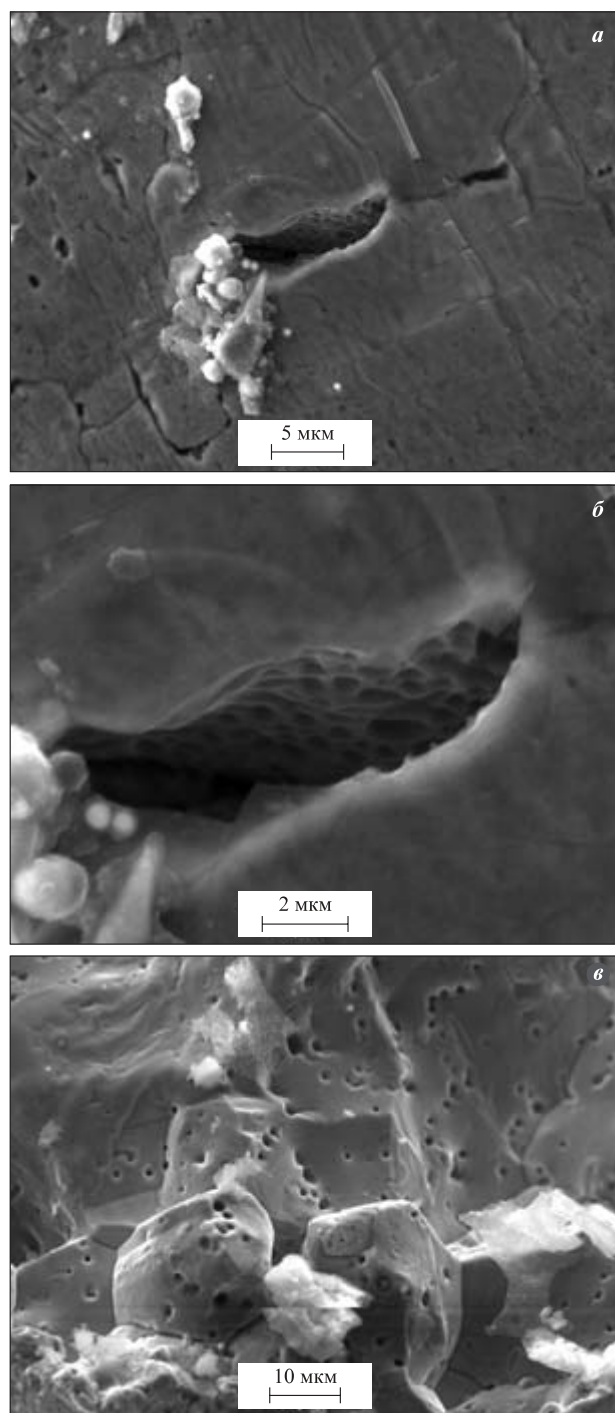


Рис. 3. Вид трещин медного проводника, подвергшегося вторичному короткому замыканию, при увеличении $3000\times$ (а), $9000\times$ (б) и вид поверхности излома при увеличении $1500\times$ (в)

шегося вторичному короткому замыканию, на поверхности его излома имеются следы в виде микропористости. По терминологии микротрасологии микропристость является микроследом, наглядно доказывающим воздействие вторичного короткого замыкания на исследуемый медный проводник.

В работе [11] приведен пример медного проводника, подвергшегося токовой перегрузке. У данного проводника вблизи области оплавления была зафик-

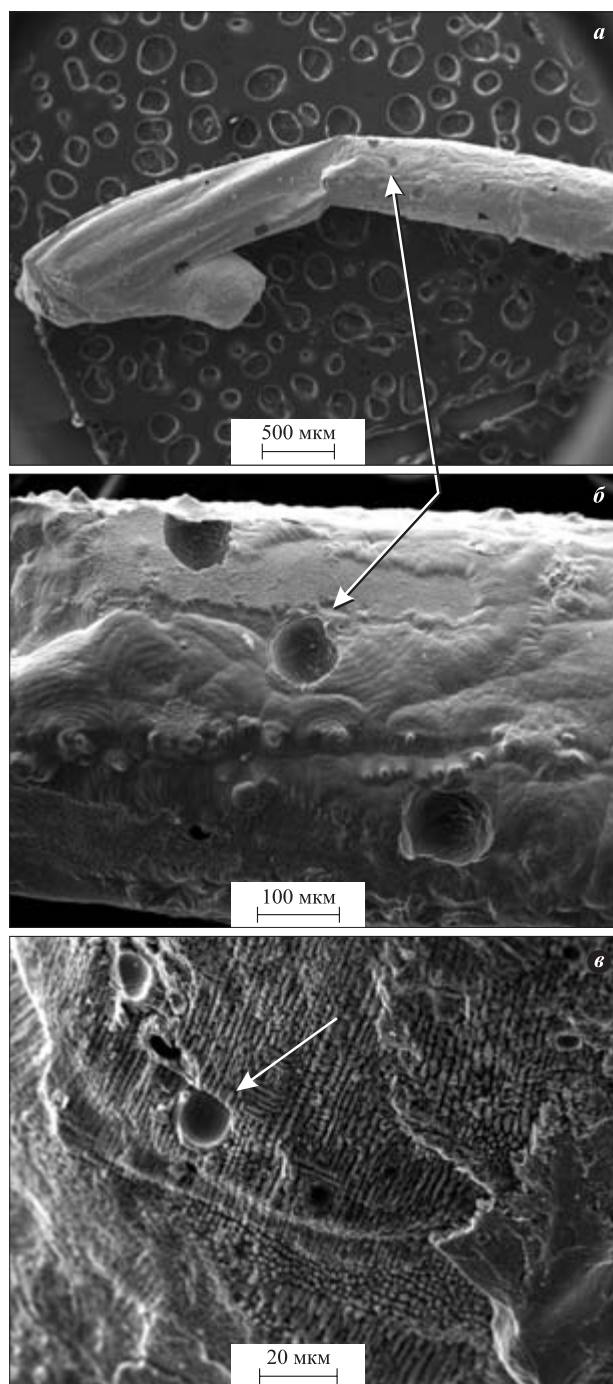


Рис. 4. Общий вид участка медного проводника, подвергшегося токовой перегрузке, с микролунками на поверхности при увеличении $30\times$ (а) и $170\times$ (б) и другого образца при увеличении $800\times$ (в)

сирована трещина. Для установления характера излома в области трещины была предпринята попытка путем приложения изгибающей нагрузки разрушить проводник. В работе [11] зафиксировано наличие на поверхности излома медного проводника, подвергшегося токовой перегрузке, зон, которые отличались по микрорельефу и имели ступеньки, что согласно РД 50-672–88 классифицирует излом как неоднородный и квазихрупкий. Автором работы [11] показано

также, что на поверхности разрушения медного проводника, подвергнувшегося перегрузке, при увеличении более $1900\times$ могут фиксироваться шарообразные микроплавления в области расположения микротрещин, что по терминологии микротрасологии является микроследом электродугового процесса.

При исследовании при помощи растрового микроскопа JSM-6390LV образцов медных проводников, подвергшихся токовой перегрузке, установлено наличие на их поверхности вблизи зоны оплавления характерных признаков в виде микролунок (рис. 4). Необходимо отметить, что микролуночки образуются в процессе токовой перегрузки при напряжении в электрической цепи не только 12 В (рис. 4,а), но и 220 В (рис. 4,в).

Таким образом, в результате исследования методом растровой микроскопии поверхностей изломов медных проводников, подвергшихся высокотемпературному воздействию, токовой перегрузке и вторичному короткому замыканию, установлены характерные признаки, позволяющие идентифицировать процесс, приведший к разрушению проводника. Необходимо отметить, что И. Д. Чешко в работе [7] указывает, что использование результатов инструментальных исследований в качестве “промежуточного продукта” в экспертном исследовании по пожару не снижает их ценности как важнейшего источника объективной информации, без которой выводы о причине пожара будут малоубедительными.

Заключение

Доказано, что на поверхности разрушения медных проводников могут фиксироваться признаки как

вязкого излома в случае внешнего высокотемпературного воздействия, так и хрупкого (квазихрупкого) излома при токовой перегрузке. На поверхности излома медного проводника, подвергнувшегося вторичному короткому замыканию, наблюдается микропористость. Методом растровой микроскопии установлены характерные признаки (наличие сотового рельефа, микропор, шарообразных микроплавлений в области микротрещин), позволяющие идентифицировать процесс, приведший к разрушению медного проводника. Установлен также такой признак токовой перегрузки, как образование микролунок на поверхности медного проводника вблизи области разрушения.

Показано, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании медных проводников с оплавлениями не только в качестве вспомогательного метода, но и в ряде случаев в качестве основного.

Настоящим исследованием установлено, что выявленные признаки на поверхностях изломов медных проводников являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Полученные результаты могут быть использованы при экспертном исследовании медных проводников, изымаемых с мест пожаров, установлении природы их повреждения и, в конечном счете, причины пожара автомобиля. В свою очередь, знание технической причины пожара даст возможность разработать профилактические мероприятия и технические решения, направленные на ее устранение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. — М. : ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
2. Quintiere J. G. Fundamentals of fire phenomena. — England, Chichester : John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook. — 20th ed. — Quincy : National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive Collision Fires // SAE Technical Paper 741180, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiro Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 3. — P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
7. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
8. Судебная экспертиза: типичные ошибки / Под. ред. Е. Р. Россинской. — М. : Проспект, 2014. — 544 с.
9. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started // Fire Technology. — 1983. — Vol. 19, No. 3. — P. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.

10. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can 'cause' beads be distinguished from 'victim' beads by physical or chemical testing? // Journal of Fire Protection Engineering. — 2004. — Vol. 14, No. 2. — P. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
11. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? // Fire Technology. — 2015. — Vol. 51, No. 5. — P. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
12. Richard J. Roby, Jamie McAllister. Forensic Investigation Techniques for Inspecting Electrical Conductors Involved in Fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
13. Фрактография и атлас фрактограмм: справ. изд. / Пер. с англ.; под ред. Дж. Феллоуза. — М. : Металлургия, 1982. — 489 с.
14. Галишев М. А., Кондратьев С. А., Чешко И. Д., Шарапов С. В., Воронова В. Б. Руководство к практическим и лабораторным занятиям по расследованию и экспертизе пожаров : учебное пособие. — СПб. : Санкт-Петербургский институт ГПС МЧС России, 2003. — 110 с.
15. Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Металлургия, 1970. — 364 с.
16. Недобитков А. И. Исследование жил медных проводников, находившихся в режиме перегрузки // Промышленность Казахстана. — 2015. — № 2. — С. 34–37.

Материал поступил в редакцию 2 декабря 2015 г.

Для цитирования: Недобитков А. И. Фрактография изломов медных проводников автомобильной электрической цепи // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.

English

FRACTOGRAPHY OF CAR ELECTRIC CIRCUIT COPPER CONDUCTOR FRACTURES

NEDOBITKOV A. I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Informatics and Mathematics, Kazakh Humanitarian Law Innovative University (Astana St., 48, Ust-Kamenogorsk, 070014, Kazakhstan; e-mail address: a.nedobitkov@mail.ru)

ABSTRACT

Data shown in the article give evidence that car fires refer to extremely serious accidents, therefore the problem of car fire safety enhancement is very topical.

In this connection development of measures for car fire prevention is of great importance. One of preventive measures is fire investigation.

In the article it is stated that them majority of conclusions of expert fire engineers regarding technical reasons for car fires has presumable (probable) nature which does not allow developing and implementing exact engineering solutions. This may be explained by many reasons including absence of scientifically based methods.

In particular, the problem of identifying primary, secondary short circuit or current overload in fusing copper conductor is not clearly solved, even though attempts to solve this problem using instrumental methods were made by criminalists starting from the 50^s of the last century.

The article gives results of studying fracture surfaces of copper conductors exposed to high-temperature, secondary short circuit and current overload. To conduct study we used raster electronic microscope JSM-6390LV.

It has been proved that on the fractures surface of copper conductors specific features for such as high temperature, secondary short circuit, current overload may occur in form of cell-type relief, microporosity, appearance ball-shaped microfusion around microcracks, steps on the fracture surface. Identification of such features allows identifying reason for destruction of copper conductor in case of fire and significantly simplifying determination of fire reason.

It is found that the determined reasons are stable and not subject to changes in natural conditions of storing thermally damaged car.

Data given in the article may be used by specialists in expert investigation of 12 V electric circuit copper conductors taken from fire locations, in identification of damage nature and, finally, in determination of car fire root cause.

Keywords: short circuit; current overload; secondary short circuit, copper; raster electronic microscopy; copper conductor; fractography: fracture types; diagnostic feature; fire investigation.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p.
2. Quintiere J. G. *Fundamentals of fire phenomena*. England, Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. *Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook*. 20th ed. Quincy, National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive Collision Fires. *SAE Technical Paper 741180*, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiro Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Bogatishchev A. I. *Kompleksnyye issledovaniya pozharoopasnykh rezhimov v setyakh elektrooborudovaniya avtotransportnykh sredstv. Dis. kand. tekhn. nauk* [Comprehensive research of fire hazardous modes in mains of electrical equipment of vehicles. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 269 p.
7. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov (obyekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Examination of fire (objects, methods, methods of research)]. St. Petersburg, St. Petersburg Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1997. 562 p.
8. Rossinskaya E. R. (ed). *Sudebnaya ekspertiza: tipichnyye oshibki* [Judicial examination: typical mistakes]. Moscow, Prospekt Publ., 2014. 544 p.
9. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started. *Fire Technology*, 1983, vol. 19, no. 3, pp. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
10. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, vol. 14, no. 2, pp. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
11. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? *Fire Technology*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
12. Richard J. Roby, Jamie McAllister. Forensic Investigation Techniques for Inspecting Electrical Conductors Involved in Fire. *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
13. Fellows J. (ed.) *Metals Handbook. Fractography and atlas of fractographs*. 8th ed. American Society for Metals, 1974. (Russ. ed.: Bernshtein M. L. Fraktografiya i atlas fraktogramm. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 489 p.).
14. Galishev M. A., Kondratyev S. A., Cheshko I. D., Sharapov S. V., Voronova V. B. *Rukovodstvo k prakticheskim i laboratornym zanyatiyam po rassledovaniyu i ekspertize pozharov* [Guide to practical and laboratory studies to investigate and expertise fires]. St. Petersburg, St. Petersburg Institute of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2003. 110 p.
15. Maltsev M. V. *Metallografiya promyshlennykh tsvetnykh metallov i splavov* [Metallography of industrial non-ferrous metals and alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970. 364 p.
16. Nedobitkov A. I. *Issledovaniye zhil mednykh provodnikov, nakhodivchikhsya v rezhime peregruzki* [The investigation of copper conductors that are in overload mode]. *Promyshlennost Kazakhstana — Industry of Kazakhstan*, 2015, no. 2. pp. 34–37.

For citation: Nedobitkov A. I. Fraktografiya izlomov mednykh provodnikov avtomobilnoy elektricheskoy tsepi [Fractography of car electric circuit copper conductor fractures]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.

Л. М. МЕШМАН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: fire404@mail.ru)

Р. Ю. ГУБИН, начальник отдела, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: fire404@mail.ru)

А. Г. ДИДЯЕВ, старший научный сотрудник, ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: fire404@mail.ru)

Л. Т. ТАНКЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой "Пожарная безопасность", Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru)

А. Л. ТАНКЛЕВСКИЙ, инженер-испытатель, ООО "Форносовский литейно-механический завод" (Россия, 187022, Ленинградская обл., пгт. Форносово, ул. Промышленная, 1-Г)

УДК 614.844.2

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ВОДЯНЫХ И ПЕННЫХ АУП

Выполнен анализ различных способов испытаний водяных и пенных дренчерных и спринклерных автоматических установок пожаротушения (АУП) на работоспособность в процессе их эксплуатации, в том числе анализ способов, изложенных в нормативных документах и патентах на изобретение. Отмечается, что методы испытаний, приведенные в отечественных стандартах и регламентирующие проверку интенсивности орошения и проведение огневых испытаний непосредственно на объекте защиты, не отвечают в полной мере поставленным целям. Предлагается несколько способов определения работоспособности гидравлического тракта водяных АУП, основанных на измерении расхода диктующего оросителя и диктующего участка спринклерной АУП либо дренчерной секции.

Ключевые слова: давление; дренчерная АУП; спринклерная АУП; интенсивность орошения; испытание; насос; диктующий ороситель; отводная контрольная труба; работоспособность; распределительная сеть; расход; узел управления.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50

Эффективность и надежность функционирования автоматических установок пожаротушения (АУП) зависят от качества их проектирования, монтажа, приемки в эксплуатацию и дальнейшего технического обслуживания.

Критерием качества выполненных проектных и монтажных работ являются положительные результаты гидравлических испытаний АУП при их сдаче в эксплуатацию, а критерием качественной эксплуатации — проведение регламентных работ, связанных с периодической проверкой и испытанием АУП на работоспособность, и поддержание гидравлических параметров АУП соответствующими проектными значениями.

Все функции, выполняемые АУП, и их технические параметры можно разделить на основные и вспомогательные. Основными параметрами, определяющими эффективность АУП при тушении пожаров, являются быстродействие и подача огнету-

шащего вещества с требуемыми гидравлическими параметрами (расход АУП в целом и интенсивность орошения). В случае несоответствия основных гидравлических параметров АУП проектным значениям однозначно не может быть обеспечено их основное функциональное назначение.

Вспомогательные функции, выполняемые АУП, направлены на контроль состояния АУП в целом и ее технических средств, обеспечение пожарной сигнализации и оповещения о пожаре. В случае сбоя только вспомогательных функций нарушится информативность АУП, но в целом установка пожаротушения сохранит способность к обеспечению эффективного тушения пожара.

Проектные значения расхода АУП и интенсивности орошения обеспечиваются гидравлической системой "насосный агрегат — подводящий и питающий трубопровод — запорные устройства (в том числе сигнальный клапан узла управления) — рас-

пределительная сеть со смонтированными на ней оросителями”. Любая неисправность в этой системе приводит к снижению работоспособности АУП или даже к их отказу.

Какие же причины могут вызвать неисправность или изменение параметров гидравлической системы в процессе эксплуатации? Вследствие различных причин может измениться характеристика $Q-H$ пожарного насоса (т. е. снизится напор, уменьшится подача); может измениться гидравлическое сопротивление трубопроводной сети из-за отложений внутри труб, наличия в них инородных примесей, уменьшения их эквивалентного диаметра при неполном открытии запорных устройств (которые должны быть полностью открыты), неполного открытия сигнального клапана при его срабатывании. Причиной, влияющей на расход воды, может быть засорение выходных отверстий и фильтров распылителей, а также вероятность изменения эпюры орошения в результате зависания элементов теплового замка, деформации розетки, несанкционированной окраски оросителей и т. п.

Какие же параметры, характеризующие работоспособность АУП, могут являться обобщенными или интегральными? Является ли убедительным критерием работоспособности АУП в целом открытие сигнального клапана при регламентных проверках и последующая выдача сигнализатором давления извещения о пожаре? Либо о работоспособности АУП в целом свидетельствует повышение давления в гидравлической сети при регламентном включении пожарного насоса? Либо достаточно будет проверить диктующий спринклерный ороситель на интенсивность орошения, чтобы убедиться в надлежащей работоспособности АУП в целом?

Ответы на данные вопросы должны были бы содержаться в нормативных документах. Какими же нормативными документами регламентировано проведение испытаний на работоспособность АУП в целом и их основных технических средств?

Инструментальный контроль электрических и гидравлических параметров предусматривался еще в ГОСТ 2.102–2013 (пп. 1.2 и 2.6) [1] согласно разработанной программе и методике испытаний и эксплуатационным документам.

Номенклатура основных контролируемых гидравлических параметров и объем испытаний, обеспечивающие работоспособность водяных и пенных АУП, приведены также в ГОСТ Р 50680–94 [2], Правилах противопожарного режима в Российской Федерации [3] и Методических рекомендациях [4], а их технических средств — в ГОСТ Р 51043–2002 [5], ГОСТ Р 51052–2002 [6], ВСН 394–78 [7], ВСН 25-09.67–85 [8] и СНИП 3.05.05–84 [9].

Согласно п. 7.2 ГОСТ Р 50680–94 [2] испытания водяных АУП следует проводить на этапах перед сдачей-приемкой установок в эксплуатацию и в период эксплуатации.

Методы испытаний на работоспособность водяных АУП в целом и их основных технических средств, регламентированные действующими нормативными документами, и наши комментарии представлены в табл. 1.

Приведенный выше анализ основных нормативных документов в области испытаний водяных АУП в целом и их технических средств свидетельствует о том, что:

- многие положения нормативных документов не соответствуют и даже противоречат друг другу;
- основной упор в методиках делается на необходимость проведения испытаний по определению интенсивности орошения, при этом практически игнорируются испытания АУП по определению расхода;
- даже положительные результаты, полученные по методам испытаний АУП в целом, приведенным в нормативных документах, не позволяют считать, что работоспособность АУП соответствует требованиям СП 5.13130.2009 [10].

Следует ли в процессе эксплуатации осуществлять проверку интенсивности орошения и с какой целью? Методики определения средней интенсивности орошения оросителями, которые установлены ГОСТ Р 50680–94 [2] и ГОСТ Р 51043–2002 [5], существенно различаются как по площади мерных банок и их количеству, так и по допустимым значениям интенсивности орошения в каждой мерной банке в зависимости от типа оросителя (В, Н, У, Г).

Место расположения мерных банок по ГОСТ Р 51043–2002 [5] строго увязано с осью оросителя, а по ГОСТ Р 50680–94 [2] мерные банки предлагается размещать в наиболее неблагоприятных для орошения местах.

Зададимся вопросом, а что такое “наиболее неблагоприятные для орошения места” и как их установить? “Наиболее неблагоприятными местами” являются “мертвые” неорошаемые участки, в которых интенсивность орошения равна нулю, т. е. действие АУП в этих зонах заведомо можно признать неэффективным. Но даже если проверяемый гидравлический участок окажется работоспособным, то это не означает, что на смежных с ним или других участках интенсивность орошения будет удовлетворительной.

Если допустить, что проверка интенсивности орошения необходима, то далеко не всегда под диктующим оросителем может находиться плоский участок, на котором можно разместить три мерных банки на одном уровне, так как чаще всего под оросителями

Таблица 1. Номенклатура и методы испытаний на работоспособность водяных и пенных АУП

Номенклатура испытаний по нормативному документу	Методы испытаний	Комментарии
Водяные АУП в целом по ГОСТ Р 50680–94 [2]		
Работоспособность АУП в целом	7.2. Испытания АУП следует проводить на этапах перед сдачей установок в эксплуатацию и в период эксплуатации не реже 1 раза в 5 лет. В номенклатуру этих испытаний должна входить проверка...: — интенсивности орошения (5.3); — времени срабатывания АУП (5.4)...	Интенсивность орошения АУП, удовлетворяющая требованиям СП 5.13.130.2009 [10], является комплексной характеристикой, удостоверяющей работоспособность АУП
Огневые испытания	7.4. Необходимость проведения огневых испытаний установок и проверки интенсивности орошения защищаемой площади или объема, заданного времени срабатывания определяет заказчик, органы Госпожнадзора или приемочная комиссия. Огневые испытания и проверку интенсивности орошения следует проводить по программе и методике, утвержденной в установленном порядке и согласованной с органами Госпожнадзора. Примечания авторов: 1. Участие представителей пожарной охраны в приемочных испытаниях АУП в настоящее время обязательно. 2. Функции Госпожнадзора в настоящее время выполняет Департамент надзорной деятельности и профилактической работы (ДНПР) МЧС России В случае невозможности из-за условий производства проведения проверки интенсивности орошения и огневых испытаний рекомендуется использовать выносные секции, размеры которых определяются программой испытаний, а их гидравлические параметры должны соответствовать параметрам основной расчетной секции	• Необходимость проведения данных видов испытаний юридически не определена. Например, как быть, если заказчик настаивает на них, а приемочная комиссия в лице проектной и монтажной организаций, наоборот, всячески противится их проведению, так как это не в их интересах. Если в состав комиссии входят в равнозначной пропорции представители заказчика, проектной и монтажной организаций, то решение комиссии будет вполне предсказуемым: так как ни проектная, ни монтажная организации не заинтересованы в проведении испытаний, их задача сдать АУП без замечаний, т. е. без дополнительных затрат на доработку, необходимость которой может быть выявлена при проведении испытаний. • Не указано, кто должен разрабатывать программу и методику испытаний. • Проведение огневых испытаний приемочной комиссией и в процессе эксплуатации является совершенно необязательным и бесполезным тестированием, так как если имеются сомнения в алгоритме функционирования, гидравлических параметрах или эффективности АУП по локализации или ликвидации пожара, то это должно быть выявлено заблаговременно, еще на этапе проектирования. Всегда ли имеется возможность воссоздать условия, аналогичные производственным? Сколько на это будет затрачено средств? Выносные секции по параметрам могут соответствовать проектным, но значит ли это, что параметры реальной секции соответствуют проектным (вследствие отступления реальной секции от проекта или при ее соответствии проекту по номенклатуре технических средств и геометрическим размерам трубопроводных сетей, но несоответствии по гидравлическому сопротивлению)? • Нигде не оговорено, что спринклерный ороситель должен быть диктующим. • Сложно осуществить замену оросителей, расположенных над технологическим оборудованием. Впрочем согласно п. 7.21 надо заменить только один спринклерный ороситель. • Проверяемый участок может быть работоспособным, но значит ли это, что смежные с ним или другие участки исправны?
Интенсивность орошения (п. 5.3)	7.18. II этап — проверка интенсивности орошения на защищаемой площади; <i>спринклерные оросители</i> выбранного участка установок (7.20) должны быть заменены соответствующими дренчерными оросителями	

Продолжение табл. 1

Номенклатура испытаний по нормативному документу	Методы испытаний	Комментарии
7.20. Выбор участков для испытаний спринклерных и дренчерных установок осуществляются представители заказчика и Госпожнадзора на основании нормативной документации, утвержденной в установленном порядке	7.21. Интенсивность орошения определяют на выбранном участке при работе <i>одного оросителя для спринклерных и четырех оросителей — для дренчерных АУП</i> при расчетном давлении	- В отличие от п. 7.4 приемочная комиссия участие в решении выбора участков по-чему-то не принимает. - Утвержденная в установленном порядке документация по выбору участков для испытаний спринклерных и дренчерных установок не предусмотрена ни одним нормативным документом
		- При каком расчетном давлении — на пожарном насосе или у диктующего оросителя? Если принимается давление у насоса, то давление у оросителей, расположенных в середине распределительной сети, выше, чем у диктующего оросителя, а значит, и замеренные на этом участке интенсивности орошения будут выше реальных. - Почему для спринклерных АУП в работу включается один ороситель, а для дренчерных АУП — четыре? Использование на выбранном участке для проверки интенсивности орошения одного спринклерного или четырех дренчерных оросителей не позволяет выяснить истинную работоспособность АУП даже в случае положительных результатов испытаний, так как при срабатывании только одного диктующего оросителя давление на нем значительно выше, чем при срабатывании всех оросителей, защищающих расчетную площадь. При этом чем больше расчетная площадь, тем значитнее эта разница. В то же время чем выше давление, тем больше интенсивность орошения. Кроме того, в реальных условиях при срабатывании проектного количества оросителей расход АУП, а значит, и интенсивность орошения в силу различных условий могут быть ниже запланированных. Однако при работе лишь одного оросителя эта неисправность не может быть выявлена.
		Положительные результаты испытаний по интенсивности орошения в трех мерных банках не гарантируют, что в пределах защищаемой площади 12 м², в которой эти банки отсутствовали, будет наблюдаться проектная интенсивность
7.22. Под участком установки, выбранным для испытаний, в контрольных точках должны быть установлены металлические поддоны размером 0,5×0,5 м и с высотой бортов не менее 0,2 м.	Число контролируемых точек должно быть принято не менее трех, и они должны располагаться в наиболее неблагоприятных для орошения местах	Размер металлических поддонов (0,5×0,5 м) не соответствует размеру мерных банок (0,25×0,25 м) по ГОСТ Р 51043–2002 [5]. Чем больше размер мерных банок, тем больше усредняется интенсивность орошения, поэтому не факт, что результаты испытаний, тем более с учетом коэффициента равномерности орошения, будут свидетельствовать об истинном состоянии АУП. Что значит “наиболее неблагоприятные для орошения места”? Исходя из условий интенсивности орошения оросителя или технологических условий? Например, “мертвые” неорошаемые зоны определяются исходя из этих условий? Однако в таких зонах интенсивность орошения равна нулю

Номенклатура испытаний по нормативному документу	Методы испытаний	Комментарии
	7.23. Интенсивность орошения в каждой контрольной точке I (л/(с·м²)) должна быть не ниже нормативной и рассчитываться по формуле $I = V/(tS),$ где V — объем воды, собранной в поддоне за время работы установки в установившемся режиме, л; t — продолжительность работы установки, с; S — площадь поддона, равная 0,25 м²	По п. 8.23 [5] интенсивность допускается и меньше: "...Оросители считают выдержавшими испытания, если средняя интенсивность орошения не ниже нормативного значения при коэффициенте равномерности орошения не более 0,5 и количество мерных банок с интенсивностью орошения менее 50 % от нормативной интенсивности не превышает: двух — для оросителей типов В, Н, У и четырех — для оросителей типов Г, Г _В , Г _Н и Г _У "
Время срабатывания АУП	4.4. ...время срабатывания: быстродействующие — не более 3 с; среднеинерционные — не более 30 с; инерционные — свыше 30 с, но не более 180 с 7.25. При испытании по п. 5.4 за время срабатывания установки должно приниматься время с момента получения сигнала о пожаре до момента начала истечения воды из оросителей	Вследствие отсутствия инженерных методов расчета времени срабатывания АУП, как правило, в проектной документации указание на инерционность АУП отсутствует Что такое "момент получения сигнала о пожаре"? Момент срабатывания пожарной сигнализации либо подачи сигнала после срабатывания спринклерного оросителя или извещателя пламени? Из данной формулировки следует, что время срабатывания спринклерной АУП имеет отрицательное значение (во всяком случае меньше, чем у дренчерной). Это объясняется тем, что в спринклерных АУП сначала срабатывает ороситель, из которого начинает диспергироваться вода, и только затем, после снижения давления в распределительной сети и открытия сигнального клапана, срабатывает сигнализатор давления, формирующий сигнал о пожаре. На основании этого в [11] указано, что быстродействие спринклерных АУП составляет 0 с, а дренчерных — 300 с, хотя именно вследствие быстрого действия объясняется приоритет дренчерных АУП над спринклерными
Расход АУП		Измерение расхода не предусмотрено
Водяные АУП в целом согласно ППР [3]		
Проверка работоспособности	61. Руководитель организации обеспечивает исправное состояние... автоматических установок пожаротушения... и организует не реже 1 раза в квартал проведение проверки работоспособности указанных систем и средств противопожарной защиты объекта с оформлением соответствующего акта проверки	Отсутствует методика проверки работоспособности АУП; отсутствует ссылка на нормативный документ, в котором эта методика приводится. Не оговорено, что входит в понятие "работоспособность"
Комплексное опробование АУП	13.6. Рабочая комиссия должна... произвести комплексное опробование АУП. Методика комплексного опробования установок (огневых испытаний) определяется в каждом конкретном случае рабочей комиссией	Методика комплексного опробования установок (огневых испытаний) отсутствует. Не указывается, кто должен разрабатывать эту методику

Номенклатура испытаний по нормативному документу	Методы испытаний	Комментарии
Автоматические установки пожаротушения. Правила приемки и контроля. Методические рекомендации [4]		
Испытания водяных АУП	31.4. Необходимость проведения огневых испытаний (при приемке АУП в эксплуатацию), проверки интенсивности орошения защищаемой площади и заданного времени срабатывания установки определяется заказчиком, органами Госпожнадзора или приемочной комиссией. Огневые испытания следует проводить по программе и методике, утвержденным в установленном порядке и согласованным с органами Госпожнадзора 40. В процессе контроля соблюдения норм, правил и требований ПБ при эксплуатации АУП необходимо проверить их работоспособность и провести испытания (<i>без выпуска огнетушащего вещества</i>), подтверждающие выполнение установкой основных сигналов и команд 41.1. При проведении обследования технического состояния установок пожаротушения необходимо руководствоваться ГОСТ Р 50680–94 [2]... и требованиями настоящих правил. 41.2. В ходе проведения обследования установок водяного пожаротушения следует проконтролировать: 41.2.12. Срок испытаний установок (испытания установок водяного пожаротушения в период их эксплуатации следует проводить не реже одного раза в 5 лет). Приложение 39, п. 5. Проверка работоспособности составных частей установок (технологической части, электротехнической части, сигнализационной части) — ежемесячно	• Номенклатура обязательных видов испытаний работоспособности АУП не установлена. • Допускается вообще не проводить гидравлические испытания по определению работоспособности АУП. • Время срабатывания АУП, как правило, в проектной документации не указывается, поэтому “заданное время срабатывания” является надуманным параметром • В Правилах [4] в отличие от ГОСТ Р 50680–94 [2] исключены испытания с выпускном огнетушащего вещества. • Что понимается под “работоспособностью”? Какие сигналы и команды являются основными? • Видимо, перепутаны термины “эксплуатация” и “обследование технического состояния АУП”. Если же допустить, что данные положения относятся только к проверке работоспособности АУП в процессе эксплуатации отсутствуют. • Непонятно, чем отличаются данные испытания, проводимые с периодичностью один раз в течение не более 5 лет, от испытаний, регламентированных в прил. 39 (п. 5) к этим Правилам [4], которые проводятся ежемесячно? • Если указывается периодичность испытаний, то эти испытания ни в коем случае нельзя называть “обследованием”. • Номенклатура и программа испытаний отсутствуют
Технические средства водяных АУП по ГОСТ Р 50680–94 [2]		
Работоспособность узлов управления спринклерных и дренчерных АУП	7.12. Испытания правильности работы узлов управления спринклерных АУП следует проводить путем открытия крана на спускном трубопроводе, предназначенного для проверки работы установок; при этом должен вскрыться клапан и сработать сигнальное устройство (возможен автоматический пуск насоса(ов)).	• Расход крана на спускном трубопроводе, как правило, не согласован с расходом диктующего спринклерного оросителя, вследствие чего не факт, что узел управления отреагирует на срабатывание диктующего спринклерного оросителя [12]. • Даже активация спринклерного или дренчерного сигнального клапана и последующее срабатывание сигнального устройства не является доказательством, что затвор сигнального клапана открывается полностью, обеспечивая запланированный расход АУП

Номенклатура испытаний по нормативному документу	Методы испытаний	Комментарии
	7.13. Испытания правильности работы узлов управления дренчерных установок следует проводить при закрытой задвижке, установленной выше клапана, путем открытия крана (вентили) на побудительном трубопроводе; при этом должны вскрыться клапан и сработать сигнальное устройство 7.17. Испытания насосов следует выполнять в соответствии с ВСН 394–78 [7]	Требования ВСН 394–78 [7] относятся только к монтажу и проведению испытаний насосов после их монтажа. По существу, никаких сведений по проверке гидравлических параметров (напору и подаче) насосов не приводится
Работоспособность насосных установок АУП		
Оросители по ГОСТ Р 51043-2002 [5]		
Расход	7.20. Расход ОТВ определяют расходомерами, счетчиками или объемным способом	Согласно ГОСТ Р 51043–2002 [5] основным гидравлическим параметром оросителей, характеризующим расход, является коэффициент производительности
Интенсивность орошения	5.1.1.3. Значение интенсивности орошения ОТВ должно соответствовать приведенным в табл. 1 (табл. 1 в ГОСТ Р 51043–2002 [5]). 8.23. Проверку интенсивности орошения (5.1.1.3, 5.1.1.5) проводят следующим образом. Мерные банки размером 250×250 мм и высотой не менее 150 мм устанавливают в шахматном порядке, с интервалом между осями банок 0,50 м. Количество мерных банок: для оросителей типов В, Н или У — 26 шт., типа Г — 64 шт. Среднюю интенсивность орошения водного оросителя I ($\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) рассчитывают по формуле $I = \Sigma I_i / n,$ где I_i — интенсивность орошения в i-й мерной банке, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; n — число мерных банок, установленных на защищаемой площади. Интенсивность орошения в i-й мерной банке I_i рассчитывают по формуле $I_i = V_i / 0,0625t,$ где V_i — объем воды (водного раствора), собранной в i-й мерной банке, дм^3; t — продолжительность орошения, с	Средняя интенсивность орошения является многофакторным параметром; причем почти в половине банок интенсивность орошения может составлять до 50 % от нормативной. При этом допускается количество мерных банок с интенсивностью орошения менее 50 % от нормативной: двух — для оросителей типов В, Н, У и четырех — для оросителей типа Г. Поэтому, какой бы результат (положительный или отрицательный) ни получился при испытаниях по пп. 7.18–7.23 [2], он не свидетельствует об истинной средней интенсивности орошения
Примечание. Терминология, используемая в данной таблице, приведена с учетом нормативных документов, введенных в действие до 01.01.2015.		

находится технологическое оборудование. Но если, предположим, удастся это сделать, то правомерно ли утверждать, что полученные результаты испытаний (положительные или отрицательные) характеризуют истинную среднюю интенсивность орошения в защищаемой зоне? Например, если усредненная интенсивность орошения в трех мерных банках меньше нормативного значения, то свидетельствует ли это, что результат отрицательный? Нет, так как мерные банки могут быть расположены в зоне, где интенсивность орошения, приходящаяся на них, меньше нормативного значения I_n , хотя средняя интенсивность орошения (если бы она была получена по ГОСТ Р 51043–2002 [5]) могла превышать I_n . И наоборот, если усредненная интенсивность орошения в трех мерных банках больше нормативного значения, то является ли это свидетельством того, что результат положительный? Нет, так как мерные банки могут быть расположены в зоне, где интенсивность орошения, приходящаяся на них, больше нормативного значения, хотя средняя интенсивность орошения (полученная по ГОСТ Р 51043–2002 [5]) могла быть ниже I_n . Еще сложнее давать оценку интенсивности орошения при одновременной подаче воды из четырех дренчерных оросителей.

В зависимости от группы помещений по СП 5.13130.2009 [10] и принятого расстояния между оросителями на площади, подлежащей орошению установкой пожаротушения, может размещаться от 6 до 16 оросителей и более. При срабатывании только 3 или 4 из этих оросителей давление у них будет выше расчетного, а следовательно, будет больше расход и, соответственно, интенсивность орошения. Поэтому и в этом случае положительные результаты испытаний не будут означать, что реальная интенсивность орошения будет не ниже нормативного значения.

Однако, даже если проверить диктующий ороситель, то есть ли уверенность, что в силу различных причин n -й ороситель будет обеспечивать заданную интенсивность орошения? К тому же проверка интенсивности орошения каждого оросителя достаточно трудоемкая операция и в условиях производства практически неосуществимая. Кроме того, в каждом проверяемом спринклерном оросителе должен быть удален тепловой замок или каждый спринклерный ороситель должен быть заменен на дренчерный. После проверки оросители, относительно которых может возникнуть сомнение по поводу их реальной интенсивности орошения, должны быть вновь заменены на спринклерные.

Однако за счет чего может измениться интенсивность орошения оросителем в процессе его эксплуатации? Поскольку в АУП могут использоваться только оросители, которые имеют действующие

сертификаты соответствия требованиям пожарной безопасности, они априори должны отвечать требованиям ГОСТ Р 51043–2002 [5], в том числе по интенсивности орошения.

В общем случае средняя интенсивность орошения оросителем определяется выражением

$$I = q/S, \text{ т. е. } I = 10KP^{0,5}/S,$$

где I — средняя интенсивность орошения оросителем площади S , л/(с·м²);

q — расход оросителя, приходящийся на площадь S , л/с;

S — площадь, на которой определяют интенсивность орошения оросителем, м² (по ГОСТ Р 51043–2002 [5] для оросителей общего назначения это площадь круга, равная 12 м²);

K — коэффициент производительности оросителя, л/(с·м^{0,5});

P — давление у оросителя, МПа.

Таким образом, интенсивность орошения оросителем может снижаться за счет уменьшения расхода через ороситель, падения давления у оросителя или изменения его пространственной ориентации (при изменении угла наклона оси оросителя смещается и увеличивается площадь орошения, а следовательно, уменьшается интенсивность орошения). Если за аксиому принять неизменность пространственной ориентации оросителей, альтернативой испытаний на интенсивность орошения могут стать измерения давления и/или расхода, которые менее трудоемки и не требуют пролива воды на предметы интерьера или технологическое оборудование.

Таким образом, использование на выбранном участке для проверки интенсивности орошения одного спринклерного или четырех дренчерных оросителей не позволяет выяснить истинную работоспособность АУП даже в случае получения положительных результатов испытаний, так как при срабатывании только одного диктующего оросителя давление на нем значительно выше, чем при срабатывании всех оросителей, защищающих расчетную площадь. При этом чем больше расчетная площадь, тем заметнее эта разница. Однако чем выше давление, тем больше интенсивность орошения. Кроме того, в реальных условиях при срабатывании проектного количества оросителей расход АУП, а следовательно, и интенсивность орошения вследствие различных условий могут быть ниже запланированных, но при работе лишь одного оросителя это несоответствие может быть не выявлено.

На давление и расход оросителя (а следовательно, и интенсивность орошения) существенное влияние оказывает выбор места расположения подвергаемого испытанию оросителя, так как в ГОСТ Р 50680–94 [2] не оговорено, что спринклерный оро-

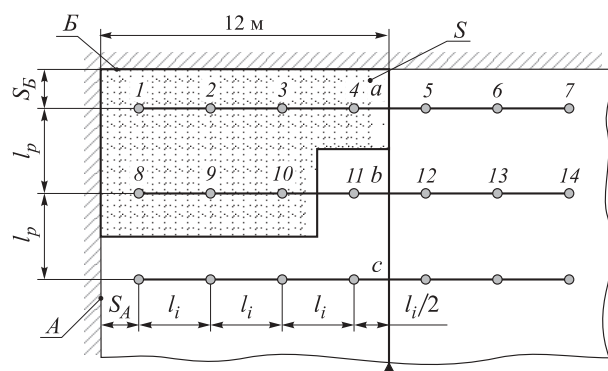


Рис. 1. Защищаемая орошением диктующая зона распределительной сети спринклерной АУП: 1–14 — оросители; l_i — расстояние между оросителями в ряду; l_p — расстояние между рядами; S_A — расстояние от крайних оросителей до стены А ($S_A \leq l_i/2$); S_B — расстояние от наиболее удаленного ряда до стены Б ($S_B = l_i/2$); S — площадь защищаемой орошением диктующей зоны (заштрихована)

ситель должен быть диктующим. Например, для схемы, приведенной на рис. 1, давление, расход и интенсивность орошения для условно выбранных оросителей распределятся следующим образом:

$$P_{10} > P_8 \gg P_4 \gg P_1;$$

$$q_{10} > q_8 \gg q_4 \gg q_1;$$

$$I_{10} > I_8 \gg I_4 \gg I_1.$$

В реальных условиях, если для испытаний будет выбран ороситель 11, то вследствие высокого давления его расход и интенсивность орошения могут оказаться в норме, но не факт, что данные показатели для оросителей 8, 4 и тем более для 1 будут удовлетворять требованиям ГОСТ Р 51043–2002 [5] или проектным значениям.

Если предположить, что в процессе эксплуатации оросители, смонтированные на распределительной сети, сохраняют неизменной свою ориентацию относительно мебели или защищаемого технологического оборудования, то в принципе нет необходимости в проверке интенсивности орошения.

Проверка работоспособности гидравлической части АУП в процессе сдачи-приемки ее в эксплуатацию должна быть направлена прежде всего на выявление соответствия нижеследующих параметров проектным и внесение значений этих показателей в паспорт и руководство по эксплуатации:

- напорной характеристики пожарного насоса $Q-H$ (желательно с учетом гидравлического сопротивления всей трубопроводной сети);
- расхода диктующего оросителя при проектном расходе АУП.

В процессе технического обслуживания должны контролироваться те же параметры, что и в процессе сдачи-приемки АУП в эксплуатацию, за исключением геометрического расположения оросителей

(предполагается, что в процессе эксплуатации они сохраняют неизменной свою пространственную ориентацию). При этом в качестве реперных значений, подлежащих в дальнейшем контролю, принимаются данные, полученные в процессе приемочных испытаний АУП.

Таким образом, становится ясно, что методика испытаний на работоспособность гидравлической части водяной АУП в процессе сдачи-приемки ее в эксплуатацию, приведенная в ГОСТ Р 50680–94 [2], явно ошибочна, тем не менее в технической литературе [11, 13–15] делается упор на выполнении этих несовершенных методических указаний.

В частности, согласно Временным методическим рекомендациям [15] при проверке водяных АУП в процессе эксплуатации требуется не только проверка их работоспособности в целом, в том числе на интенсивность орошения (см. табл. 1), но и проверка интенсивности орошения *диктующего* оросителя (!) на соответствие требованиям ГОСТ Р 51043–2002 [5], что этим стандартом не предусматривается. Проверить интенсивность орошения по ГОСТ Р 51043–2002 [5] на объекте не представляется возможным, так как проверка должна проводиться на специальном испытательном стенде.

Предлагаемые ниже способы проверки работоспособности гидравлической части АУП в процессе сдачи ее в эксплуатацию и проведения технического обслуживания расходятся с изложенными в ГОСТ Р 50680–94 [2] и в технической литературе [11, 13–15].

Возможные варианты по проверке работоспособности АУП, которые могут быть использованы применительно к реальным объектам защиты, приведены в табл. 2.

Следует подчеркнуть, что в современной учебной технической литературе, связанной с техническим содержанием спринклерных и дренчерных АУП, методы испытаний на работоспособность практически не рассматривались [16–18]. В тех же случаях, когда в специальной технической литературе [19, 20] приводились подобные методы, они полностью соответствовали методам испытаний, изложенным в ГОСТ Р 50680–94 и ГОСТ Р 50800–95 [5, 21], и не подвергались сомнению или критическим замечаниям.

В основных зарубежных стандартах [22–25] указывается, что АУП должны быть постоянно обеспечены устройствами, подходящими для измерения давления и расхода, т. е. акцент сделан не на тестировании интенсивности орошения, а на контроле давления и расхода. Поэтому в зарубежной технической литературе дискуссия по этому вопросу отсутствует.

Таблица 2. Способы проверки работоспособности АУП применительно к реальным объектам защиты

Конечный участок контролируемой части гидравлической сети	Способы проверки	Преимущества и недостатки
А — пожарный насос, без орошения ОТВ защищаемой зоны (рис. 2). Цель испытаний — проверка работоспособности насосной установки	Подача воды насосной установкой с напором, соответствующим проектному, в отводную контрольную трубу, которая смонтирована в непосредственной близости от пожарного насоса и имеет расход, равный расходу диктующего участка секции спринклерной АУП или диктующей дренчерной секции. П р и м е ч а н и е. Здесь и далее под диктующим участком секции спринклерной АУП и под диктующей дренчерной секцией понимается соответственно участок секции спринклерной АУП с определенным количеством размещенных на нем спринклерных оросителей, обеспечивающих орошение нормативной площади орошения с заданным расходом по СП 5.13130.2009 [10], или диктующая дренчерная секция с наибольшим расходом ОТВ	<i>Преимущества.</i> Простота способа, минимальные трудовые и временные затраты на монтаж и выполнение измерительных работ, так как используется только одна отводная контрольная труба (независимо от количества узлов управления), которая монтируется в насосной станции. <i>Недостатки.</i> Проверяется работоспособность только насосной установки, а состояние трубопроводной сети, запорных устройств (в том числе узлов управления) и оросителей остается неопределенным
Б — узел управления, без орошения ОТВ защищаемой зоны (рис. 3). Цель испытаний — проверка работоспособности насосной установки, подводящего трубопровода и узла управления	Проверка при полностью открытых запорных устройствах, установленных на подводящем трубопроводе. Подача воды насосной установкой с напором, соответствующим проектному, в отводную контрольную трубу, которая смонтирована либо после диктующего спринклерного сигнального клапана и имеет расход, равный расходу диктующего участка секции спринклерной АУП, либо после диктующего дренчерного сигнального клапана и имеет расход, равный расходу дренчерной диктующей секции	<i>Преимущества.</i> Если узлы управления находятся в насосной станции или в обособленном помещении, то дополнительным преимуществом, по сравнению со способом А, является проверка состояния узла управления и подводящего трубопровода со смонтированными на нем запорными устройствами. Причем при проверке нет необходимости находиться в защищаемом помещении (учитывая, что в некоторые защищаемые помещения по условиям технологического процесса доступ ограничен или полностью исключен). <i>Недостатки.</i> Не предусмотрена проверка состояния питающих трубопроводов, распределительной сети и оросителей. Количество отводных контрольных труб зависит от количества узлов управления
В — центральный питающий трубопровод, без орошения ОТВ защищаемой зоны (рис. 4). Цель испытаний — проверка работоспособности насосной установки, подводящего трубопровода, узла управления и центрального питающего трубопровода	Подача воды насосной установкой с напором, соответствующим проектному, через отводную контрольную трубу, которая смонтирована на конце центрального питающего трубопровода и расход через которую соответствует: — в спринклерных АУП — расходу диктующего участка секции спринклерной АУП; — в дренчерных АУП — расходу дренчерной диктующей секции. П р и м е ч а н и е. Центральный питающий трубопровод — часть питающего трубопровода от узла управления, находящегося в насосной станции или в специальном помещении, до 1-го распределительного трубопровода от пожарного насоса	<i>Преимущества.</i> По сравнению со способом Б дополнительно осуществляется проверка состояния центрального питающего трубопровода, протяженность которого иногда достигает нескольких сот метров. <i>Недостатки.</i> Необходимость монтажа в защищаемом помещении дополнительной отводной контрольной трубы

Конечный участок контролируемой части гидравлической сети	Способы проверки	Преимущества и недостатки
Г — распределительная сеть с одним активированным диктующим оросителем и диктующим участком спринклерной АУП либо с диктующей или всеми секциями дренчерной АУП, без орошения ОТВ защищаемой зоны (рис. 5). Цель испытаний — проверка работоспособности насосной установки, подводящего трубопровода, узла управления, а также: — для спринклерной АУП: питающего трубопровода к диктующему участку с имитацией диктующего участка и диктующего оросителя; — для дренчерной АУП: питающего трубопровода к диктующей либо каждой секции АУП с имитацией самой секции и диктующего оросителя (с заменой дренчерных оросителей испытываемой секции на заглушки)	Подача воды насосной установкой с проектным значением напора и с расходом, соответствующим: — в спринклерных АУП — расходу имитатора диктующего спринклерного оросителя диктующего участка секции АУП через отводную контрольную трубу и расходу диктующего участка спринклерной секции (без учета расхода имитатора диктующего оросителя) через отводную контрольную трубу, смонтированную в начале питающей трубы диктующего участка каждой секции (от пожарного насоса); — в дренчерных АУП — расходу через имитатора диктующего дренчерного оросителя диктующей дренчерной секции АУП (остальные дренчерные оросители заменяются спринклерными или вместо них устанавливаются заглушки) через отводную контрольную трубу и расходу диктующей дренчерной секции через отводную контрольную трубу, смонтированную, соответственно, в конце питающей трубы секции (без учета расхода имитатора диктующего оросителя)	<i>Преимущества.</i> Практически осуществляется проверка работоспособности диктующего участка спринклерной АУП либо диктующей или всех секций дренчерной АУП. При испытании дренчерной АУП, в которой все дренчерные оросители заменены на спринклерные или вместо них используются заглушки, не требуется проведение мероприятий по защите оборудования от перегревающего вещества, так как оно стекает по отводящим трубопроводам в приемные емкости или канализацию. <i>Недостатки.</i> Для дренчерной сети большие трудовые и временные затраты, связанные с заменой дренчерных оросителей на спринклерные или на заглушки. Необходимость монтажа в защищаемом помещении двух отводных контрольных труб
Д — распределительная сеть с активированным диктующим участком спринклерной АУП либо с диктующей или каждой секцией дренчерной АУП, с орошением ОТВ защищаемой зоны (рис. 6) Цель испытаний — проверка реальной работоспособности диктующего участка спринклерной АУП или диктующей секции АУП	Подача воды насосной установкой с напором, соответствующим проектному: — в спринклерных АУП — через все оросители диктующего участка (спринклерные оросители диктующего участка заменяются дренчерными оросителями аналогичной конструкции с равным коэффициентом производительности); — в дренчерных АУП — через все дренчерные оросители диктующей или каждой из дренчерных секций АУП	<i>Преимущества.</i> Осуществляется проверка реальной работоспособности диктующего участка спринклерной АУП либо диктующей или каждой секции дренчерной АУП; измерение расхода и давления в непосредственной близости от пожарного насоса на подводящем трубопроводе. <i>Недостатки.</i> Пролит огнетушащего вещества по всей защищаемой площади; для спринклерной АУП замена спринклерных оросителей диктующего участка дренчерными оросителями аналогичной конструкции с равным коэффициентом производительности, что представляет определенные сложности, особенно при высоких потолках помещения или наличии под распределительной сетью конструктивно-сложного технологического оборудования

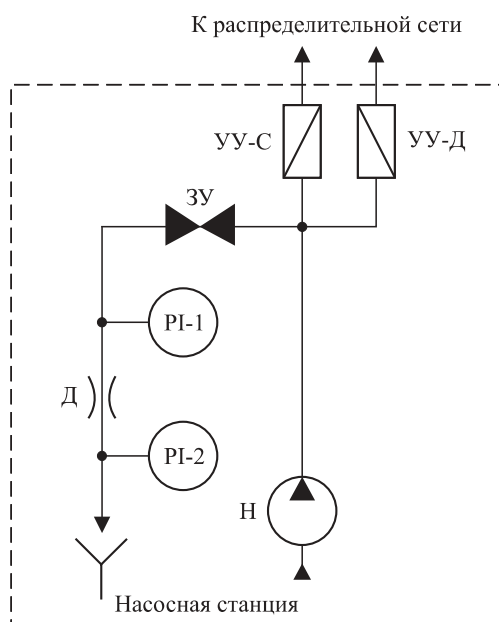
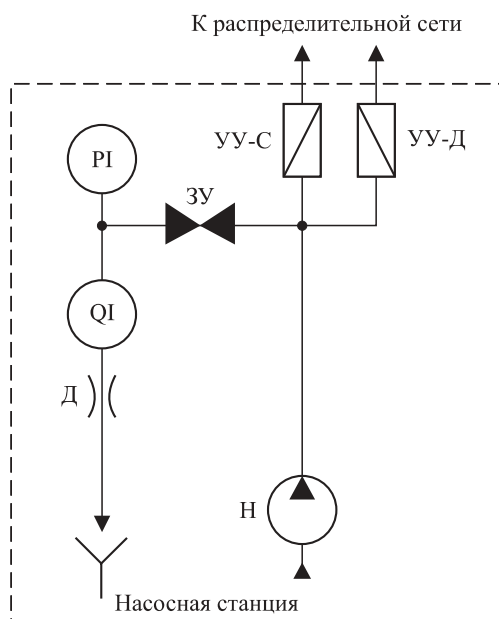


Рис. 2. Схема проверки работоспособности гидравлической системы “пожарный насос”: а — с расходомером; б — с диафрагмой; Н — насос; PI, PI-1, PI-2 — манометры; QI — расходомер; Д — измерительная диафрагма; УУ-С — спринклерный узел управления; УУ-Д — дренчерный узел управления; ЗУ — запорное устройство

На практике наиболее просто можно проверить работоспособность гидравлической системы “пожарный насос”. Измерительная сеть представляет собой трубопровод с размещенными на нем запорным устройством ЗУ и расходомером QI (см. рис. 2, а). При необходимости проверки работоспособности АУП необходимо открыть запорное устройство ЗУ и включить насос Н. Контроль давления осуществляется по манометру PI, находящемуся на подводящем трубопроводе АУП у узла управления. Расход регистрируется расходомером QI.

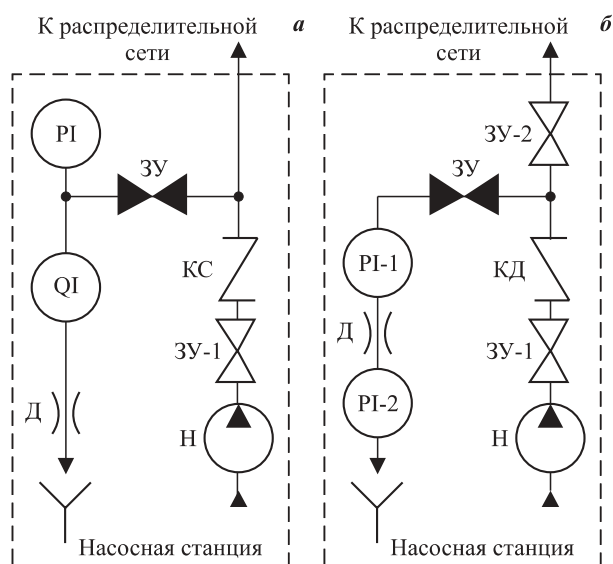


Рис. 3. Схема проверки работоспособности гидравлической системы “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления” с диафрагмой: а — спринклерная АУП; б — дренчерная АУП; Н — насос; PI, PI-1, PI-2 — манометры; QI — расходомер; Д — измерительная диафрагма; КС — спринклерный сигнальный клапан; КД — дренчерный сигнальный клапан; ЗУ, ЗУ-1, ЗУ-2 — запорные устройства

За рубежом подобные схемы рекомендовались еще с середины прошлого столетия, причем вместо расходомера в них использовались измерительная диафрагма Д с определенным коэффициентом производительности и два манометра PI-1 и PI-2, установленные соответственно до и после диафрагмы Д (см. рис. 2, б). Расход определяется по тарировочной характеристике $Q_d = f(P_{I-1}, P_{I-2})$.

Вполне возможна проверка и гидравлической системы “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления” (см. рис. 3). Измерительная система как спринклерной, так и дренчерной АУП может быть выполнена аналогично схеме, приведенной на рис. 2, на базе расходомера QI или измерительной диафрагмы Д. Для исключения пролива огнетушащего вещества при проверке работоспособности дренчерной секции запорное устройство ЗУ-2 на выходе дренчерного узла управления должно быть перекрыто (см. рис. 3, б). Данная схема позволяет синхронизировать, наряду с проверкой расхода, одновременно проверку нескольких других параметров, например работоспособности насоса, срабатывания сигнального клапана, выдачи сигнализации, оповещения и управления технологическим оборудованием.

Не вызывает особых сложностей и реализация проверки гидравлической системы “пожарный насос – подводящий трубопровод – спринклерный узел управления – центральный питающий трубопровод” (см. рис. 4). Эту систему целесообразно использовать в случае значительной протяженности питающего

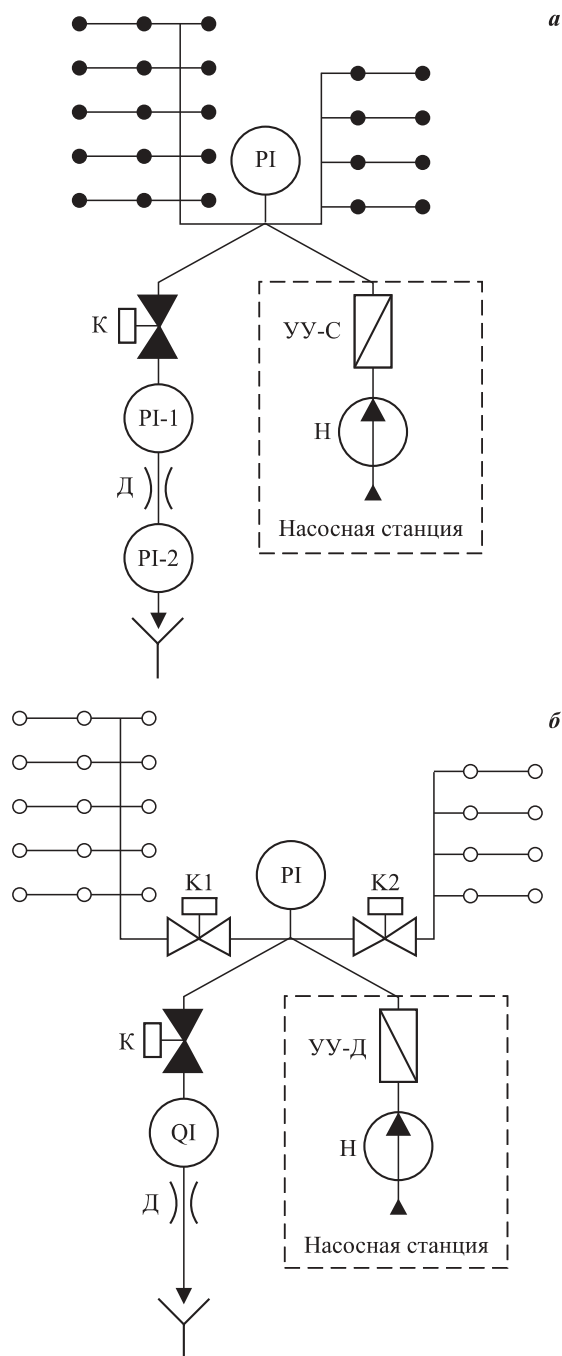


Рис. 4. Схема проверки работоспособности гидравлической системы “пожарный насос – подводящий трубопровод – спринклерный узел управления – центральный питающий трубопровод”: а — спринклерная АУП; б — дренажная АУП; ● — спринклерный ороситель; ○ — дренажный ороситель; Н — насос; QI — расходомер; PI, PI-1, PI-2 — манометры; Д — измерительная диафрагма; УУ-С — спринклерный узел управления; УУ-Д — дренажный узел управления; К, K1, K2 — электроклапаны

трубопровода. Поскольку отводной контрольный трубопровод с измерительной аппаратурой находится в защищаемом помещении, то в целях сокращения пребывания в нем персонала, обслуживающего АУП, целесообразно обеспечить вывод измеряемых параметров в насосную станцию или в иное техниче-

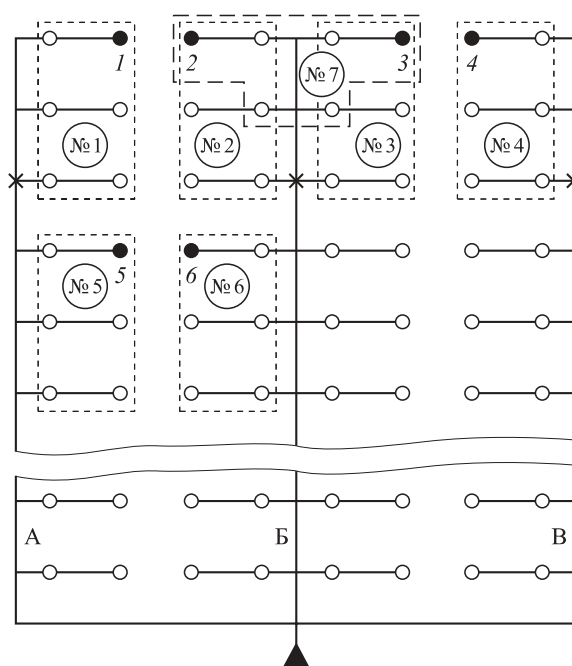


Рис. 5. Схема разветвленной распределительной сети водяной спринклерной АУП, условно поделенной на участки: № 1–7 и т. д. — участки, каждый из которых соответствует максимальной орошаемой площади согласно [10]; 1–6 — диктующие спринклерные оросители; X — места подсоединения отводного контрольного трубопровода

ское помещение, предназначенное для размещения управляющей и контролирующей аппаратуры, например в диспетчерский пункт. Как и на рис. 2 и 3, измерительная схема может быть выполнена с расходомером или двумя манометрами с измерительной диафрагмой.

Рассмотренные способы проверки работоспособности водяных АУП носят частный характер. При проверке гидравлического тракта не рассматривается состояние исправности распределительной сети с расположенными на ней многочисленными спринклерными оросителями, поэтому проверка не дает ответа на вопрос, может ли обеспечить АУП требуемые гидравлические параметры при распылении огнетушащего вещества непосредственно над объектом защиты?

Чтобы проверить всю развитую распределительную сеть спринклерной АУП, необходимо разбить ее на отдельные участки № 1–7 и т. д. (см. рис. 5), равные минимальной площади, орошаемой спринклерной АУП согласно СП 5.13130.2009 [10], причем количество этих участков N должно составлять:

$$N = S_{\text{общ}} / S_{\text{мин}},$$

где $S_{\text{общ}}$ — площадь помещения, защищаемая всей развитой распределительной сетью спринклерной АУП;

$S_{\text{мин}}$ — равные минимальные площади участков № 1–7 и т. д., орошаемые при срабатывании спринклерной АУП согласно СП 5.13130.2009 [10].

При разделении спринклерной сети АУП на участки не должен быть пропущен ни один ороситель, ни одна ветвь распределительной сети. После проверки каждого участка использованные спринклерные оросители должны быть заменены на новые. Однако следует иметь в виду, что к вновь смонтированным спринклерным оросителям также могут быть вопросы по поводу их соответствия показателям назначения. Кроме того, проверка каждого отдельного участка развитой распределительной сети спринклерной АУП потребует значительных трудовых и временных затрат.

В связи с этим при проверке работоспособности спринклерной АУП априори принимают, что спринклерные оросители, смонтированные на распределительной сети, выполняют свою задачу по локализации или ликвидации пожара независимо от места возникновения загорания в том случае, если гидравлические параметры диктующего оросителя (находящегося на наивысшей высоте и/или в наиболее удаленном от пожарного насоса месте) будут не хуже проектных. Таким образом, область испытаний ограничивается проверкой соответствия давления или расхода диктующего спринклерного оросителя и общего расхода на диктующем участке каждого питающего трубопровода спринклерной АУП проектным значениям. В этом случае, по крайней мере, проверя-

ется работоспособность каждого питающего трубопровода. Причем при планировке отдельных участков могут быть задействованы различные комбинации оросителей. Например, на питающем трубопроводе Б в качестве диктующего участка может использоваться участок № 2, или № 3, или № 7.

На рис. 6 представлены схемы проверки работоспособности распределительной сети спринклерной секции АУП “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления – питающий трубопровод – диктующий участок спринклерной секции АУП” и дренчерной секции АУП “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления – питающий трубопровод – диктующая секция дренчерной АУП” путем использования:

- для спринклерной АУП — имитатора расхода диктующего спринклерного оросителя и имитатора расхода диктующего участка секции АУП (без учета расхода диктующего спринклерного оросителя);
- для дренчерной АУП — имитатора расхода диктующего дренчерного оросителя и имитатора расхода диктующей секции (без учета расхода диктующего дренчерного оросителя).

В случае использования спринклерной АУП (см. рис. 6, а) вблизи диктующего спринклерного оросителя в распределительный трубопровод вмонтирован

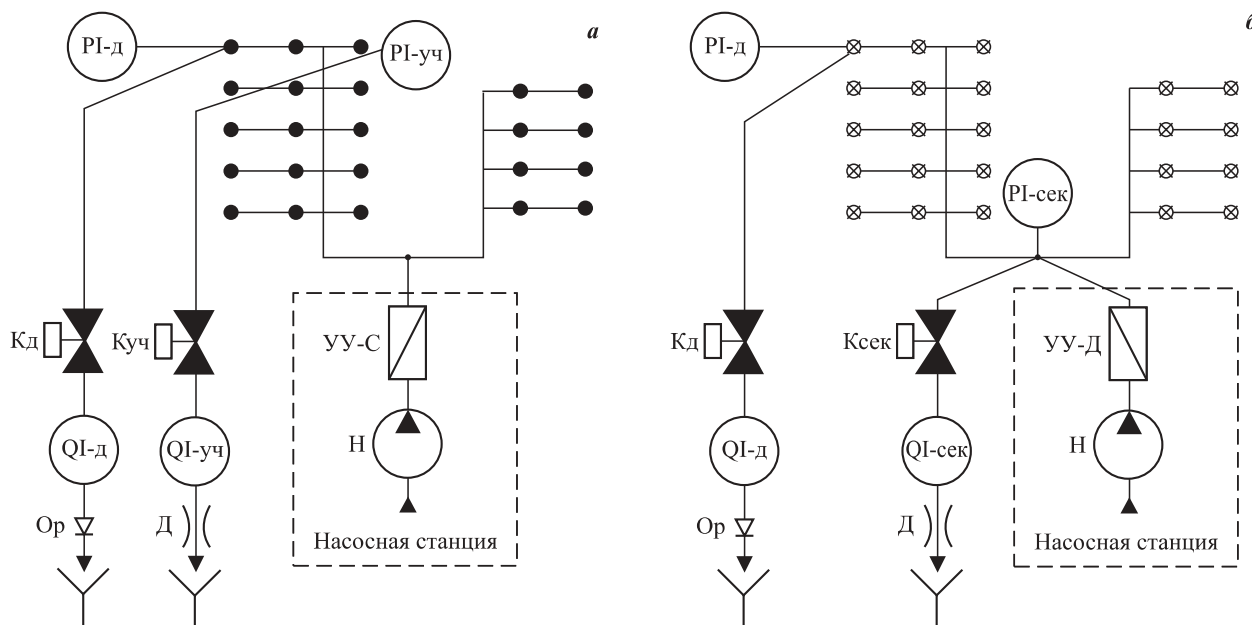


Рис. 6. Схема проверки работоспособности гидравлической системы “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления – питающий трубопровод – диктующий участок спринклерной секции АУП (или диктующая секция дренчерной АУП)” при помощи имитаторов расхода: а — спринклерная АУП; б — дренчерная АУП; ● — спринклерный ороситель; ⊗ — заглушка взамен дренчерного оросителя; Ор — имитатор расхода — дренчерный ороситель; Н — насос; PI-д, PI-уч, PI-сек — датчики давления соответственно у диктующего оросителя, на выходе диктующего участка спринклерной сети и на выходе дренчерной секции; QI-д, QI-уч, QI-сек — расходомеры соответственно у диктующего оросителя, на выходе диктующего участка спринклерной сети и на выходе дренчерной секции; Д — диафрагма; Кд, Куч, Ксек — электроклапаны в отводном контрольном трубопроводе соответственно от диктующего оросителя, на выходе диктующего участка спринклерной сети и на выходе дренчерной секции (схема проверки приведена только для одного питающего трубопровода)

отводной контрольный трубопровод, содержащий управляемый клапан Кд, расходомер QI-д или диафрагму с датчиками давления (на рис. 6 не показаны) и имитатор расхода дренчерного оросителя Ор, конструктивно аналогичный диктующему спринклерному оросителю с равным коэффициентом производительности. К питающему трубопроводу в месте снабжения им диктующего участка подсоединен отводной контрольный трубопровод, содержащий управляемый клапан Куч, расходомер QI-уч и измерительную диафрагму Д с коэффициентом производительности, численно равным коэффициенту производительности диктующего участка спринклерной АУП (без учета расхода диктующего спринклерного оросителя).

При испытаниях на работоспособность спринклерной АУП производят активацию управляемого клапана Кд, тем самым имитируя срабатывание диктующего спринклерного оросителя. При этом открывается спринклерный сигнальный клапан узла управления УУ-С и включается клапан Куч, имитирующий срабатывание группы оросителей, входящих в диктующий участок спринклерной АУП. Огнетушащее вещество, протекающее через контрольные отводящие трубопроводы, поступает в канализацию или в приемную емкость, не оказывая отрицательного воздействия на предметы интерьера или на технологическое оборудование. При снижении давления в трубопроводной сети до определенного уровня включается пожарный насос Н, обеспечивая протекание огнетушащей жидкости по обоим отводным контрольным трубопроводам. Давление у диктующего оросителя $P_{I-д}$ и на диктующем участке $P_{I-уч}$, а также расход по обоим отводным контрольным трубопроводам $Q_{I-д}$ и $Q_{I-уч}$ регистрируются после выхода пожарного насоса на установившийся рабочий режим. Вместо дренчерного оросителя, выполняющего функцию имитатора расхода диктующего спринклерного оросителя, может использоваться измерительная диафрагма с коэффициентом производительности, равным коэффициенту производительности диктующего оросителя.

В случае использования дренчерной АУП (см. рис. 6,б) для исключения пролива огнетушащего вещества на объект защиты все дренчерные оросители заменяют на заглушки. Вблизи диктующего дренчерного оросителя в распределительный трубопровод вмонтирован отводной контрольный трубопровод, содержащий датчик давления PI-д, управляемый клапан Кд, расходомер QI-д и имитатор расхода дренчерного оросителя Ор, конструктивно аналогичный данному диктующему дренчерному оросителю с равным коэффициентом производительности. К питающему трубопроводу в месте начала распределительной сети подсоединен отводной

контрольный трубопровод, содержащий управляемый клапан Ксек, расходомер QI-сек и измерительную диафрагму Д с коэффициентом производительности, равным коэффициенту производительности диктующей секции (без учета расхода диктующего дренчерного оросителя).

При проверке на работоспособность дренчерной секции АУП открываются клапаны Кд и Ксек на отводных контрольных трубопроводах, и расположенный в узле управления кран ручного пуска АУП (на схеме не показан) переводится в режим “Проверка”. При этом открывается дренчерный сигнальный клапан узла управления УУ-Д, и огнетушащее вещество через отводные трубопроводы поступает в канализацию или приемную емкость. Далее проводится проверка на работоспособность дренчерной секции АУП, которая аналогична проверке на работоспособность диктующего участка спринклерной секции АУП.

Критерием работоспособности АУП по данному способу проверки является измеренное значение расхода:

- для спринклерной АУП:
 $Q_c = Q_{I-уч} + Q_{I-д} \geq Q_{пр}$, причем $P_{I-д} \geq P_{пр}$;
- для дренчерной АУП:
 $Q_d = Q_{I-сек} + Q_{I-д} \geq Q_{пр}$, причем $P_{I-д} \geq P_{пр}$.

Здесь Q_c , Q_d — расход соответственно диктующего участка спринклерной секции или диктующей дренчерной секции; $Q_{I-уч}$ — расход диктующего участка спринклерной секции без учета расхода диктующего оросителя (имитатора диктующего оросителя); $Q_{I-сек}$ — расход диктующей дренчерной секции без учета расхода диктующего оросителя (имитатора диктующего оросителя); $Q_{пр}$ — проектное значение расхода; $Q_{I-д}$ — расход диктующего спринклерного или дренчерного оросителя (имитатора диктующего оросителя); $P_{I-д}$ — давление у диктующего оросителя; $P_{пр}$ — проектное значение давления у диктующего оросителя.

На рис. 7 приведены схемы проверки работоспособности гидравлической системы АУП “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления – питающий трубопровод – диктующий участок спринклерной секции АУП (или диктующая секция дренчерной АУП)” при условии, что допускается орошение защищаемого объекта огнетушащим веществом.

В этом случае для проверки спринклерной АУП целесообразно заменить традиционные спринклерные оросители, расположенные на диктующем участке, на дренчерные оросители или на спринклерные оросители с принудительным пуском.

Как в спринклерной, так и в дренчерной АУП для измерения расхода используется расходомер,

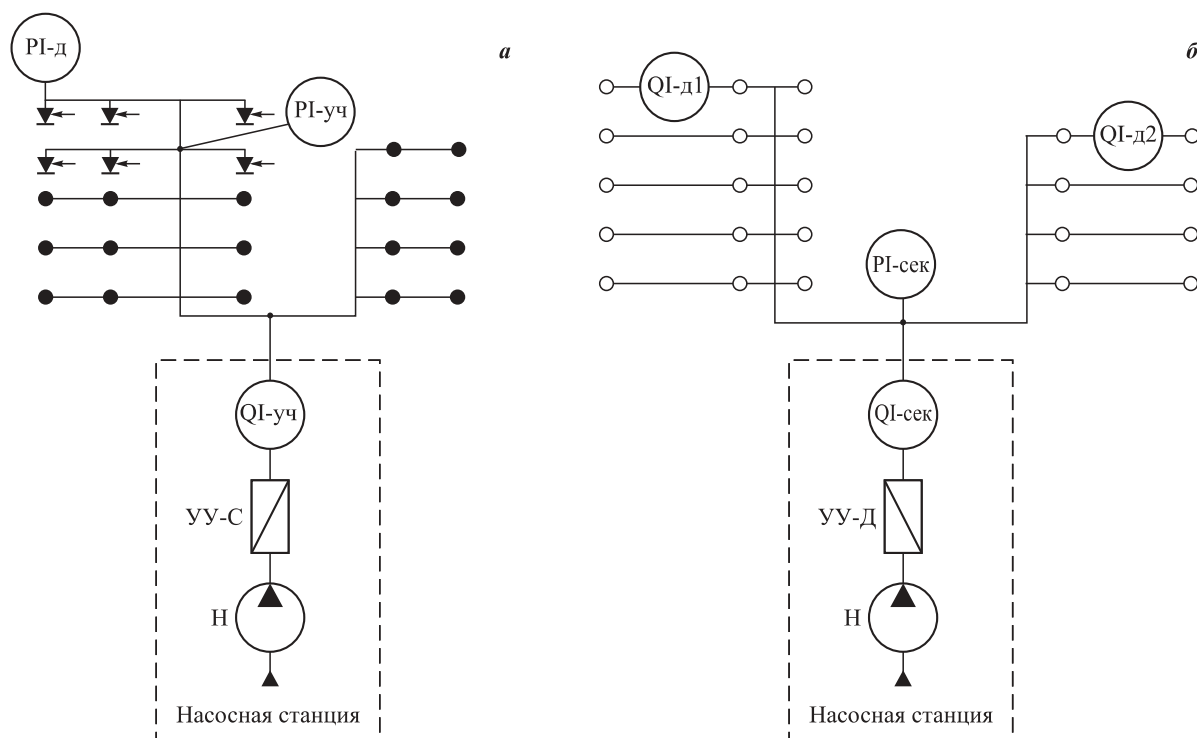


Рис. 7. Схема проверки работоспособности гидравлической системы “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления – питающий трубопровод – диктующий участок спринклерной секции АУП (или диктующая секция дренчерной АУП)” с проливом огнетушащего вещества по объекту защиты: *а* — спринклерная АУП; *б* — дренчерная АУП; ● — традиционный спринклерный ороситель; ▼ — спринклерный ороситель с принудительным пуском; ○ — дренчерный ороситель; Н — насос; PI-д, PI-уч, PI-сек — датчики давления соответственно у диктующего оросителя, на выходе диктующего участка спринклерной сети и на выходе дренчерной секции; QI-уч, QI-д1, QI-д2, QI-сек — расходомеры соответственно на выходе диктующего участка спринклерной сети, у двух диктующих оросителей и на выходе дренчерной секции

установленный в насосной станции на питающем трубопроводе.

В спринклерной АУП перекрывают запорное устройство узла управления, сливают воду из диктующего участка секции, заменяют спринклерные оросители, расположенные на этом участке секции, на конструктивно аналогичные им, с равным коэффициентом производительности, дренчерные оросители или на спринклерные оросители с принудительным пуском.

При проведении испытаний на работоспособность спринклерной АУП по схеме, приведенной на рис. 7,а, по возможности устанавливают временные отводные полужесткие рукавные линии на каждый ороситель либо накрывают предметы интерьера или технологическое оборудование водонепроницаемой пленкой. Открывают запорное устройство узла управления, при этом будет активирован сигнальный клапан и включится пожарный насос. Огнетушащее вещество через расходомер заполнит питающий и распределительный трубопровод и начнет подаваться, соответственно, во временные отводные полужесткие рукавные линии либо непосредственно на защищаемый диктующий участок секции.

При проведении испытаний на работоспособность дренчерной АУП по схеме, приведенной на

рис. 7,б, устанавливают (если это представляется возможным) временные переносные отводные полужесткие рукавные линии либо накрывают предметы интерьера или технологическое оборудование водонепроницаемой пленкой. Переводят в режим “Проверка” расположенный в узле управления кран ручного пуска АУП (на схеме не показан). При этом откроется дренчерный сигнальный клапан, и включится пожарный насос. Огнетушащее вещество через расходомер заполнит питающий и распределительный трубопровод и начнет подаваться соответственно во временные переносные отводные полужесткие рукавные линии либо непосредственно по всей площади, защищаемой секцией АУП.

Критерием работоспособности АУП по данному способу проверки является давление, измеренное у диктующего оросителя, и расход:

- для спринклерной АУП:
 $Q_c = Q_l \geq Q_{пр}$, причем $P_{I-д} \geq P_{пр}$;
- для дренчерной АУП:
 $Q_d = Q_l \geq Q_{пр}$, причем $P_{I-д} \geq P_{пр}$,

где Q_l — измеренный расход диктующего участка спринклерной секции или диктующей дренчерной секции.

Измерение давления и расхода должно проводиться при выходе насоса на рабочий режим. Однако

следует иметь в виду, что проверка реальной работоспособности распределительной сети АУП практически невозможна по следующим причинам:

- как правило, на действующем объекте отсутствует возможность пролива огнетушащего вещества на технологическое оборудование или предметы интерьера защищаемых помещений;
- для спринклерных АУП представляет сложность замена спринклерных оросителей на дренчерные или спринклерные оросители с принудительным пуском при высоте помещений более 4 м или при расположении под распределительной сетью технологического оборудования;
- для проверки каждого участка трубопровода распределительной сети и каждого питающего трубопровода каждой секции АУП требуются значительные трудовые и временные затраты.

В связи с этим проведение полной проверки реальной работоспособности всей распределительной сети АУП не представляется возможным. Поэтому наиболее приемлемым способом проверки работоспособности АУП является использование для измерения расхода отводных контрольных труб, подключенных, соответственно, к месту расположения диктующего оросителя и к диктующему участку питающей трубы спринклерной АУП или диктующей дренчерной секции АУП (см. рис. 7).

Аналогичное техническое решение по контролю работоспособности спринклерных АУП описано в патентах на полезную модель [26, 27].

В настоящее время в отличие от простейших по числу выполняемых функций и технически устаревших АУП прошлого столетия намечается тенденция к переходу на автоматизацию контроля состояния АУП в процессе их эксплуатации, что уже находит применение в сложных автоматических технологических процессах, в умных “интеллектуальных” зданиях [28]. Поэтому для упрощения процедуры проведения испытаний и исключения пребывания обслуживающего АУП персонала в защищаемом помещении процесс измерения расхода и давления целесообразно автоматизировать.

Одна из схем автоматического способа измерения расхода спринклерной АУП приведена на рис. 8.

Устройство состоит из малорасходной измерительной гидравлической линии 1 с расходом, эквивалентным расходу диктующего спринклерного оросителя, высокорасходной измерительной гидравлической линии 2 с расходом, эквивалентным разности расходов диктующего участка распределительной сети и диктующего спринклерного оросителя, и системы автоматического управления испытанием 3.

Малорасходная измерительная гидравлическая линия 1 подсоединена к диктующей ветви 4 распределительного трубопровода 5 в непосредственной

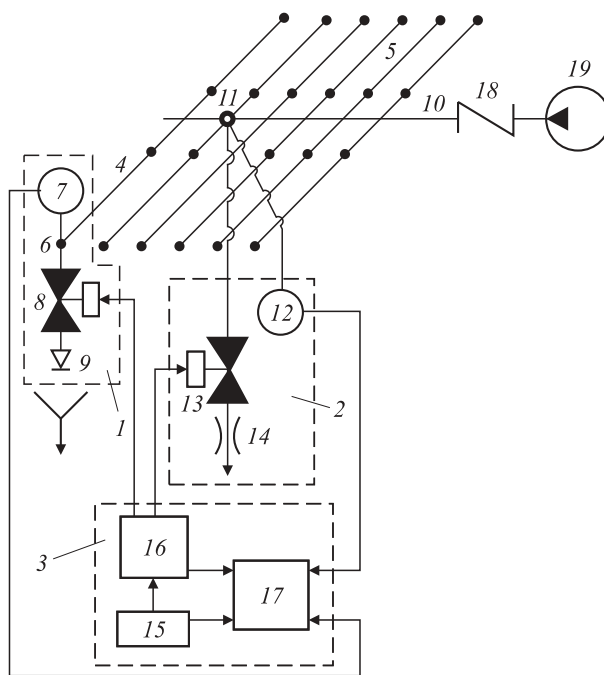


Рис. 8. Схема проверки работоспособности спринклерных АУП по гидравлическому контуру “пожарный насос – подводящий трубопровод – узел управления – питающий трубопровод – диктующий участок спринклерной секции АУП”: 1 — малорасходная измерительная гидравлическая линия; 2 — высокорасходная измерительная гидравлическая линия; 3 — система автоматического управления испытанием; 4 — диктующая ветвь распределительного трубопровода; 5 — распределительный трубопровод; 6 — диктующий ороситель; 7 — дистанционный измеритель давления; 8 — управляемое запорное устройство; 9 — тестовый дренчерный ороситель; 10 — питающий трубопровод; 11 — выход диктующего участка; 12 — дистанционный измеритель давления; 13 — управляемое запорное устройство; 14 — измерительная диафрагма; 15 — программатор; 16 — пусковой блок; 17 — информационно-измерительный блок; 18 — узел управления; 19 — насосная установка; ● — спринклерный ороситель

близости от диктующего оросителя 6. Малорасходная измерительная гидравлическая линия 1 состоит из дистанционного измерителя давления (датчика давления) 7 и последовательно соединенных нормально закрытого управляемого запорного устройства 8 и тестового дренчерного оросителя (или имитатора диктующего оросителя) 9, как правило, конструктивно аналогичного диктующему спринклерному оросителю 6.

Высокорасходная измерительная гидравлическая линия 2 подсоединена к питающему трубопроводу 10 на конце диктующего участка 11 распределительной сети 5. Высокорасходная измерительная гидравлическая линия 2 состоит из дистанционного измерителя давления (датчика давления) 12 и последовательно соединенных нормально закрытого управляемого запорного устройства 13 и измерительной диафрагмы 14 с коэффициентом производительности, равным коэффициенту производительности диктующего участка распределительной сети, без учета

коэффициента производительности диктующего оросителя.

Система автоматического управления испытанием 3 состоит из программатора 15, который подсоединен к пусковому блоку 16 и информационно-измерительному блоку 17. К пусковому блоку 16 подключаются цепи питания управляемых запорных устройств 8 и 13. К информационно-измерительному блоку 17, в свою очередь, подключаются измерительные цепи дистанционных измерителей давления 7 и 12.

Огнетушащее вещество из малорасходной (1) и высокорасходной (2) гидравлических линий отводится по спускным трубопроводам в канализацию или в пожарный резервуар (на рис. 8 не показаны).

Система автоматического управления испытанием 3 может быть стационарной и размещаться, например, на щите или пульте управления спринклерной установки пожаротушения либо может быть мобильной, выполненной в виде, например, переносного чемоданчика (внешнего модуля, прибора-контроллера, персонального компьютера или ноутбука). В последнем случае цепи питания управляемых запорных устройств 8 и 13, а также измерительные цепи дистанционных измерителей давления 7 и 12 должны быть подведены, например, к щиту или пульту управления спринклерной установкой пожаротушения и иметь соответствующие разъемы для соединения с системой автоматического управления испытанием 3.

Мобильный вариант системы автоматического управления испытанием 3 позволит инспектирующему составу проверять большое количество секций спринклерных установок пожаротушения, имеющих различные данные по напору и подаче пожарных насосов, а также широкий диапазон давлений у диктующих оросителей и на конце диктующего участка 11 распределительной сети.

Система автоматического управления испытанием функционирует следующим образом.

На программаторе 15 оператор задает проектные значения давления у диктующего оросителя и на конце диктующего участка распределительной сети спринклерной АУП, вводит интервалы времени с момента включения пускового блока до активации управляемого запорного устройства 8 и между включением управляемых запорных устройств 8 и 13, а также устанавливает продолжительность испытаний. Заданные и введенные установочные параметры поступают в пусковой блок 16 для выполнения запрограммированного алгоритма испытаний и в информационно-измерительный блок 17 в качестве исходных данных для автоматического оформления протокола испытаний.

При включении пускового блока 16 начинается регистрация текущих значений давления с дистан-

ционных измерителей давления 7 и 12 (измерительный этап I), соответствующих дежурному режиму спринклерной установки пожаротушения (давление, регистрируемое дистанционными измерителями давления 7 и 12, практически идентично). Спустя запланированное время срабатывает управляемое запорное устройство 8, начинается истечение огнетушащего вещества из тестового дренчерного оросителя 9 по малорасходной гидравлической линии 1. Давление у диктующего оросителя 6 и на выходе диктующего участка 11 снижается, благодаря чему открывается узел управления 18. Давление у диктующего оросителя 6 и на выходе диктующего участка 11 несколько повышается, но остается все равно меньше нижнего уровня срабатывания жокей-насоса, вследствие чего через некоторое время происходит пуск пожарного насоса 20. Давление у диктующего оросителя 6 и на выходе диктующего участка 11 еще более повышается (измерительный этап II). После этого программатор 16 выдает команду на включение управляемого запорного устройства 13, и начинается истечение огнетушащего вещества через диафрагму 14 по высокорасходной гидравлической линии 2. Давление у диктующего оросителя 6 и на выходе диктующего участка 11 уменьшается, но должно быть не менее соответствующих проектных значений. Через некоторое время запорные устройства 8 и 13 отключаются, и на этом испытания спринклерной установки пожаротушения заканчиваются, а спринклерная установка пожаротушения переходит в исходное состояние — дежурный режим.

Следует отметить, что начальное давление в распределительной сети $P_{I-д} \approx P_{I-уч}$ зависит от давления, поддерживаемого автоматическим водопитателем (на рис. 8 не показан) в контролируемом диапазоне — от определенного нижнего значения до определенного верхнего (измерительный этап I). При включении насоса давление в распределительной сети $P_{II-д}$ и $P_{II-уч}$ может быть как ниже, так и выше значений на начальном измерительном этапе I ($P_{I-д}$ и $P_{I-уч}$), так как независимо от начального давления насос выходит на свой рабочий режим с напором, зависящим в данный момент только от величины расхода гидравлической сети (измерительный этап II).

По окончании испытаний в информационно-измерительном блоке 17 формируется протокол, в котором содержатся сравнительные данные исходных проектных значений расхода $Q_{пр}$ и зафиксированных в процессе испытаний Q_c , причем общий расход диктующего участка распределительной сети АУП определяется из выражения

$$Q_c = Q_{II-уч} + Q_{II-д} \geq Q_{пр}.$$

Критерием положительной работоспособности спринклерной АУП в рабочем режиме является совокупность следующих факторов:

- давление у диктующего оросителя $P_{II-д}$ и на выходе диктующего участка спринклерной распределительной сети $P_{II-уч}$ — не менее соответствующих проектных значений; причем давление, регистрируемое дистанционным измерителем давления $PI-д$ (поз. 7), всегда меньше давления, регистрируемого дистанционным измерителем давления $PI-уч$ (поз. 12);
- суммарный измеренный расход огнетушащего вещества по отводному контрольному малорасходному трубопроводу 1 и отводному контрольному высокорасходному трубопроводу 2 — не менее проектного значения.

В противном случае спринклерная установка пожаротушения будет признана не соответствующей проекту.

Данные испытания могут проводиться в автоматическом режиме без участия человека (учитывая, что в некоторые защищаемые помещения по условиям технологического процесса доступ обслуживающего персонала ограничен или полностью исключен). В этом случае в программаторе системы управления АУП устанавливается периодичность проведения испытаний (через неделю, месяц или квартал). В назначенное время программатор 15 через пусковой блок 16 включает управляемые запорные устройства (электроклапаны) 8 и 13, в результате чего реализуется весь вышеописанный алгоритм проверки. При этом измеряемые показатели (давление в обоих отводных контрольных трубопроводах)

и автоматически вычисленные значения расхода в форме протокола записываются в память компьютера и выводятся на дисплей оператора.

Выводы

1. Анализ нормативных методов испытаний водяных АУП на работоспособность в процессе эксплуатации свидетельствует о том, что:

- описанные в действующих документах стандартные методы испытаний АУП, располагаемых в наиболее неблагоприятных для орошения местах, в основу которых положена проверка интенсивности орошения, несовершенны;
- нет необходимости в проведении испытаний АУП с проливом огнетушащего вещества непосредственно на защищаемый объект и в измерении интенсивности орошения;
- проведение огневых испытаний смонтированной на защищаемом объекте АУП необязательно.

2. Предложены интегральные способы проверки работоспособности водяных АУП путем имитации расхода диктующего участка спринклерной АУП или диктующей дренчерной секции АУП.

3. Сведения, приведенные в настоящей статье по методам испытаний водяных АУП, соответствующим ГОСТ Р 50680–94 [2], целиком относятся и к пенным АУП, соответствующим ГОСТ Р 50800–95 [21].

4. ГОСТ Р 50680–94 [2] и ГОСТ Р 50800–95 [21] нуждаются в кардинальной переработке в части разделов, относящихся к методам испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2.102–2013. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов. — Введ. 01.06.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ Р 50680–94. Установки водяного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.1995. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1994.
3. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 25.04.2012 № 390 (с изм.: постановление Правительства РФ от 17.02.2014 № 313) // Собр. законодательства РФ. — 07.05.2012. — № 19, ст. 2415.
4. Арбузов Н. Б., Долговидов А. В., Жевлаков А. Ф., Панов С. В., Пивоваров В. В., Филаретов М. Б. Автоматические системы пожаротушения и пожарной сигнализации. Правила приемки и контроля. Методические рекомендации. — М. : ВНИИПО, 1999. — 121 с.
5. ГОСТ Р 51043–2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2003. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002.
6. ГОСТ Р 51052–2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Узлы управления. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2003. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002.
7. ВСН 394–78. Инструкция по монтажу компрессоров и насосов. — Введ. 01.07.1979. — М. : ЦБНТИ Минмонтажспецстроя, 1979.
8. ВСН 25–09.67–85. Правила производства и приемки работ. Автоматические установки. — Введ. 01.01.1986. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003308> (дата обращения: 15.11.2015).
9. СНиП 3.05.05–84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. — Введ. 01.01.1985. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985.

10. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 № 175; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
11. Смирнов Н. В., Цариченко С. Г., Здор В. Л., Старшинов Б. П., Савин М. В. Нормативно-техническая документация о проектировании, монтаже и эксплуатации автоматических установок пожаротушения, пожарной сигнализации и систем дымоудаления : учебно-методическое пособие. — М. : ФГУ ВНИИПО МВД России, 2004. — 312 с.
12. Лакеев А. В., Ришин А. А., Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю. Новые направления разработок узлов управления на базе сигнализаторов потока жидкости // Пожарная безопасность. — 2007. — № 3. — С. 29–35.
13. Собурь С. В. Установки пожаротушения автоматические : справочник. — М. : Спецтехника, 2001. — 352 с.
14. Комплексное испытание систем противопожарной защиты / ФГБУ “Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы “Испытательная пожарная лаборатория” по г. Санкт-Петербургу, 2015. URL: <http://www.ipl-spb.ru/ppz.html> (дата обращения: 15.11.2015).
15. Временные методические рекомендации по проверке систем и элементов противопожарной защиты зданий и сооружений при проведении мероприятий по контролю (надзору). — Введ. 03.07.2014. — М. : МЧС России, 2014. — 53 с.
16. Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И. Автоматические установки пожаротушения. Вчера. Сегодня. Завтра : учебно-справочное пособие. — М. : Пожнаука, 2009. — 294 с.
17. Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И., Смирнов В. И. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения : учебник. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 298 с.
18. Пучков В. А., Дагиров Ш. Ш., Агафонов А. В. и др. Пожарная безопасность : учебник / Под общ. ред. В. А. Пучкова. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — 877 с.
19. Собурь С. В., Кирюхина Т. Г. Автоматические установки пожаротушения. Основные требования к проектированию, монтажу, эксплуатации и обслуживанию : учебное пособие. — М. : Такир, 2012. — 259 с.
20. Чуприян А. П., Борзов Б. А., Матюшин А. В. и др. Профилактика и тушение пожаров в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности с вентилируемыми фасадами : учеб. пособие / Под общ. ред. А. П. Чуприяна. — М. : ВНИИПО, 2016. — 348 с.
21. ГОСТ Р 50800–95. Установки пенного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ 01.01.1996. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1995.
22. NFPA 13. Standard for the Installation of Sprinkler Systems. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2013. — 443 p.
23. NFPA 25. Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2014. — 136 p.
24. EN 12845. Fixed firefighting systems — Automatic sprinkler systems — Design, installation and maintenance. — BSI, 2009. — 184 p.
25. CEA 4001. Sprinkler Systems: Planning and Installation. — Brussels : CEA aisbl, 2009. — 190 p.
26. Пат. на полезную модель 129005 Российская Федерация. МПК А62С 35/00. Спринклерная установка пожаротушения / Танклевский Л. Т., Васильев М. А., Уткин С. В., Копылов С. Н., Мешман Л. М., Губин Р. Ю. — № 2012151017/122012; заявл. 28.11.2012; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
27. Пат. 2018334 Российская Федерация. МПК А62С 39/00. Способ контроля работоспособности установки пожаротушения / Молоков А. В. — № 4758454/12; заявл. 09.11.1989; опубл. 30.08.1994.
28. Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю. “Интеллектуальное” многофункциональное высотное здание: проблемы терминологии // Пожарная безопасность. — 2007. — № 2. — С. 122–124.

Материал поступил в редакцию 22 ноября 2015 г.

Для цитирования: Мешман Л. М., Губин Р. Ю., Дидяев А. Г., Танклевский Л. Т., Танклевский А. Л. Методы испытаний на работоспособность водяных и пенных АУП // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 28–50. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50.

TEST METHODS ON THE OPERABILITY OF WATER AND FOAM AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

MESHMAN L. M., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (mkr. VNI IPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: fire404@mail.ru)

GUBIN R. Yu., Head of Department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (mkr. VNI IPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: fire404@mail.ru)

DIDYAEV A. G., Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (mkr. VNI IPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: fire404@mail.ru)

TANKLEVSKIY L. T., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Fire Safety Department, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politekhnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail address: tanklevskiy@gefest-spb.ru)

TANKLEVSKIY A. L., Test Engineer, OOO FLMZ (Promyshlennaya St., 1-G, Settlement Fornosovo, Leningrad Region, 187022, Russian Federation)

ABSTRACT

The detailed analysis of different ways of testing water and foam sprinkler automatic extinguishing systems (AES) during the process of their operation, including an analysis of the methods contained in normative documents and patents was practiced. It is noted that test methods, mentioned in the national standards, do not meet the set objectives in a full range. It is shown that methods used in current standard, based on the examination of the sprinkling intensity in the three measuring jars, placed in the most unfavorable areas for irrigation, are imperfect during the actuation of one sprinkler or four drenchers.

Usage of one sprinkler or four drenchers on a chosen area for examination of a sprinkling intensity cannot identify a real operability of AES even in the case of positive test results, because the pressure of a single most remote actuated sprinkler is much higher than the pressure of all the actuated sprinklers protecting the calculated area. In addition, the larger a calculated area — the more appreciable this difference is. However, the higher the pressure — the more the sprinkling intensity is. Besides, in real conditions during the actuation of a design quantity of sprinklers the AES flow rate, consequently its sprinkling intensity, can be lower than planned ones because of various conditions. But this failure cannot be detected during the operation of one sprinkler. Positive results of sprinkling intensity tests in the three measuring jars do not guarantee that there will be a design intensity in the limits of 12 m² protected area, where these jars were absent. That is why there is no need in testing the AES with the flow of extinguishing agent directly on the protected object and measuring the water sprinkling intensity; there is no need in bearing fire tests of the installed AES on a protected object. Integral ways of examination of water AES via imitation of the highest remote section area of a sprinkler AES or the highest remote section area of a drencher AES were suggested. Data noted in this article belong to water AES corresponded GOST R 50680–94 and to foam AES corresponded GOST 50800–95 as well, according to test methods. Mentioned standards need a total revision in test methods section parts.

Keywords: pressure; deluge sprinkler system; wet sprinkler system; density of irrigation; test; fire pump; dictating the sprinkler; control pipe; operation; distribution network; flow rate; control unit.

REFERENCES

1. *Interstate standard 2.102–2013. Unified system for design documentation. Types and sets of design documentations.* Moscow, Standartinform Publ., 2014 (in Russian).
2. *State standard of the Russian Federation 50680–94. Automatic water fire fighting systems. General technical requirements. Methods of tests.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1994 (in Russian).
3. Rules of the fire regime in the Russian Federation. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 07.05.2012, no. 19, art. 2415 (in Russian).

4. Arbuzov N. B., Dolgovidov A. V., Zhevlakov A. F., Panov S. V., Pivovarov V. V., Filaretov M. B. *Avtomaticheskiye sistemy pozharotusheniya i pozharoy signalizatsii. Pravila priyemki i kontrolya. Metodicheskiye rekomendatsii* [Automatic fire extinguishing systems and fire alarm. Acceptance and maintenance requirements. Methodical and recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1999. 120 p.
5. *State standard of the Russian Federation 51043–2002. Automatic water and foam fire fighting systems. Sprinklers, spray nozzles and water mist nozzles. General technical requirements. Test methods.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2002 (in Russian).
6. *State standard of the Russian Federation 51052–2002. Automatic water and foam fire extinguishing installations. Wet and dry system alarm stations. General technical requirements. Test methods.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2002 (in Russian).
7. *Departmental construction norms 394–78. Compressors and pumps installation manual.* Moscow, Central bureau of scientific and technical information of Minmontazhspestroy Publ., 1979 (in Russian).
8. *Departmental construction norms 25-09.67–85. Execution and acceptance requirements. Automatic fire suppression systems.* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200003308> (Accessed 15 November 2015) (in Russian).
9. *Construction rules and regulations 3.05.05–84. Technical equipment and technical pipelines.* Moscow, TsITP Gosstroya SSSR Publ., 1985 (in Russian).
10. *Set of rules 5.13130.2009. Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
11. Smirnov N. V., Tsarichenko S. G., Zdor V. L., Starshinov B. P., Savin M. V. *Normativno-tekhnicheskaya dokumentatsiya o proyektirovanii, montazhe i ekspluatatsii avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya, pozharoy signalizatsii i sistem dymoudaleniya: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Normative-technical documentation about design, installation and exploitation of automatic extinguishing, fire alarm and smoke-removal systems. Study guides]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 2004. 312 p.
12. Lakeev A. V., Rishin A. A., Meshman L. M., Bylinkin V. A., Gubin R. Yu. *Novyye napravleniya razrabotok uzlov upravleniya na baze signalizatorov potoka zhidkosti* [New directions of control assembly designs on the basis of liquid flow detectors]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 3, pp. 29–35.
13. Sobur S. V. *Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskoye: spravochnik* [Automatic fire fighting systems. Reference book]. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2001. 352 p.
14. Website of “Forensic Expert Institution of Federal Fire-Protection Service “Fire Testing Laboratory” of Saint-Petersburg. Complex examination of a fire-protection system. Available at: <http://www.ipl-spb.ru/ppz.html> (Accessed 15 November 2015) (in Russian).
15. *Temporary methodical recommendations for examination of system and elements of fire-protection of buildings and compartments during practicing control measures.* Moscow, Emercom of Russia Publ., 2014. 53 p. (in Russian).
16. Baburov V. P., Baburin V. V., Fomin V. I. *Avtomaticheskiye ustanovki pozharotusheniya. Vchera. Segodnya. Zavtra: uchebno-spravochnoye posobiye* [Automatic fire fighting systems. Yesterday. Today. Tomorrow. Educational handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2009. 294 p.
17. Baburov V. P., Baburin V. V., Fomin V. I., Smirnov V. I. *Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. Chast 2. Avtomaticheskoye ustanovki pozharotusheniya: uchebnik* [Production and fire automatic. Part 2. Automatic fire fighting systems. Educational handbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 298 p.
18. Puchkov V. A. (ed.), Dagirov Sh. Sh., Agafonov A. V. et al. *Pozharnaya bezopasnost: uchebnik* [Fire safety. Educational handbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 877 p.
19. Sobur S. V., Kiryukhina T. G. *Avtomaticheskiye ustanovki pozharotusheniya. Osnovnyye trebovaniya k proyektirovaniyu, montazhu, ekspluatatsii i obsluzhivaniyu: uchebnoye posobiye* [Automatic fire fighting systems. Basic requirements to design, installation, exploitation and service. Educational handbook]. Moscow, Takir Publ., 2012. 259 p.
20. Chupriyan A. P. (ed.), Borzov B. A., Matyushin A. V. et al. *Profilaktika i tusheniye pozharov v vysotnykh zdaniyakh i zdaniyakh povyshennoy etazhnosti s ventiliruyemyimi fasadami: uchebnoye posobiye* [Preventive measures and extinguishing of fires in high-rise buildings with ventilated faces. Educational handbook]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2016. 348 p.
21. *State standard of the Russian Federation 50800–95. Automatic fire fighting foam systems. General technical requirements. Test methods.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1995 (in Russian).

22. *NFPA 13. Standard for the Installation of Sprinkler Systems*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2013. 443 p.
23. *NFPA 25. Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2014. 136 p.
24. *EN 12845. Fixed firefighting systems — Automatic sprinkler systems — Design, installation and maintenance*. BSI, 2009. 184 p.
25. *CEA 4001. Sprinkler Systems Planning and Installation*. Brussels, CEA aisbl, 2009. 190 p.
26. Tanklevskiy L. T., Vasilyev M. A., Utkin S. V., Kopylov S. N., Meshman L. M., Gubin R. Yu. *Sprinklernaya ustanovka pozharotusheniya* [Sprinkler firefighting systems]. Patent RU, no. 129005, 20.06.2013.
27. Molokov A. V. *Sposob kontrolya rabotosposobnosti ustanovki pozharotusheniya* [Way of control of operability of firefighting systems]. Patent RU, no. 2018334, 30.08.1994.
28. Meshman L. M., Bylinkin V. A., Gubin R. Yu. "Intellektualnoye" mnogofunktsionalnoye vysotnoye zdaniye: problemy terminologii ["Smart" multifunctional high-rise buildings: terminology problems]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 2, pp. 122–124.

For citation: Meshman L. M., Gubin R. Yu., Didyaev A. G., Tanklevskiy L. T., Tanklevskiy A. L. *Metody ispytaniy na rabotosposobnost vodyanykh i pennnykh AUP* [Test methods on the operability of water and foam automatic fire extinguishing systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 28–50. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50.



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

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

УДК 614.84.664

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ДИСПЕРСНЫМИ ОГNETУШАЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ И ПЕНОЙ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ

Приведены результаты комплексных экспериментальных и теоретических исследований процесса тушения пламени углеводородов различными типами огнетушащих веществ, включая распыленную воду, огнетушащий порошок, химически активный фреон и пену низкой кратности. На основе результатов экспериментальных исследований процесса тушения струями дисперсных огнетушащих веществ и пены низкой кратности предложен и обоснован “локальный” механизм тушения пламени жидкостей огнетушащими веществами. Экспериментально показано и теоретически обосновано существование минимума на кривых зависимости удельного расхода от интенсивности в области оптимальной интенсивности подачи огнетушащего средства. Предложены типовые уравнения для расчета времени и удельного расхода при тушении пламени горючих жидкостей с использованием различных типов огнетушащих веществ. Показано удовлетворительное совпадение результатов эксперимента с расчетом по формулам, соответствующим “локальному” механизму тушения пламени огнетушащими веществами.

Ключевые слова: огнетушащие вещества; распыленная вода; огнетушащий порошок; химически активный фреон; пена низкой кратности; механизм тушения пламени.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.51-58

Общепринятый подход к анализу процесса тушения пламени дисперсными системами подразумевает сопоставление тепла, выделяемого пламенем горящих паров, с теплом, затраченным на фазовые превращения огнетушащего вещества (ОТВ) [1, 2]. Считается, что огнетушащее вещество (например, вода высокой степени дисперсности) способно поглощать половину теплового потока, выделяющегося при горении, что приводит к потуханию пламени [3, 4].

Первые сомнения в такой способности огнетушащих веществ возникли при расчете теплового баланса порошка, а в дальнейшем и распыленной воды: получился большой перевес в сторону тепла, выделяющегося при горении пламени. Количества порошка или распыленной воды оказывается недостаточно для поглощения половины теплового потока от пламени. Если представить ситуацию, в которой при тушении пламени гептана (низшая теплота сгорания 40 000 кДж/кг, скорость выгорания 0,04 кг/(м·с)) интенсивность подачи распыленной струи составляет 0,1 кг/(м²·с), то при полном испарении воды и удельной теплоте испарения 2300 кДж/кг удастся поглотить только шестую часть тепла, выделяемого в реакции горения паров гептана в воздухе.

Эксперименты показали, что тушение пламени гептана при указанной интенсивности подачи воды

происходит успешно. На рис. 1 представлены результаты эксперимента по тушению пламени гептана водой различной степени дисперсности.

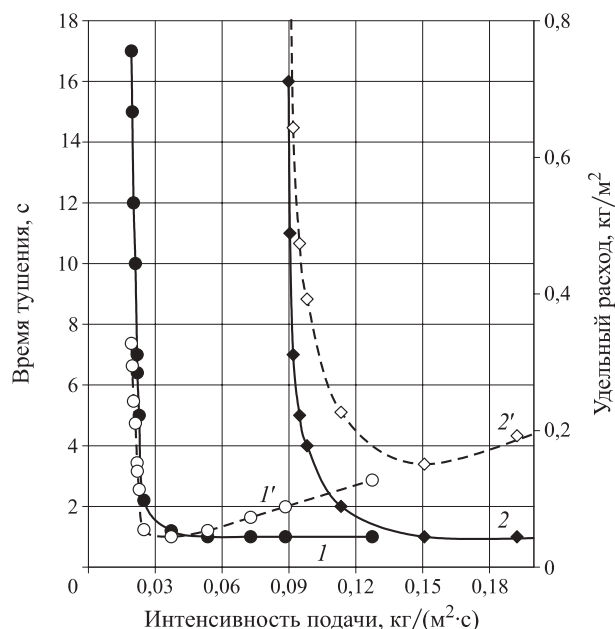


Рис. 1. Зависимость времени тушения гептана (1, 2) и удельного расхода (1', 2') распыленной струи воды дисперсностью 20 мкм (1, 1') и 80 мкм (2, 2')

Оказалось, что тушение достигается при небольших расходах воды. При уменьшении размера капель с 80 до 20 мкм интенсивность подачи воды, при которой обеспечивается тушение пламени, снижается с 0,15 до 0,04 кг/(м²·с), т. е. почти в 4 раза [5, 6].

Результаты экспериментов по тушению пламени огнетушащим порошком выявили наличие минимума на кривых зависимости удельного расхода от интенсивности подачи порошка (рис. 2 и 3). Первые указания на существование такой закономерности на основе качественных измерений были даны в работе [7]. Как следует из результатов экспериментов, тушение пламени гептана достигается при интенсивности подачи порошка от 0,15 до 0,10 кг/(м²·с) [8] и только при тушении по особому — “локальному” механизму, когда на фронт порошка действует только небольшая часть тепла факела пламени.

При анализе процесса тушения пламени порошком различие в количестве выделенной в результате реакции горения и поглощенной в процессе тушения теплоты обычно относят к наличию особого механизма тушения — ингибирования процесса горе-

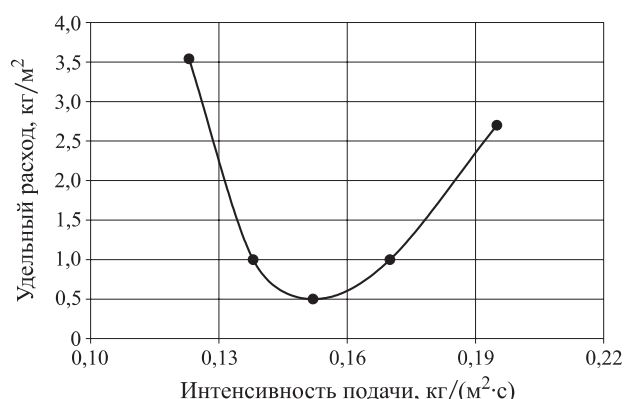


Рис. 2. Зависимость удельного расхода перемолотой смеси карбамида и бикарбоната натрия в соотношении 1:1 с диаметром частиц 40 мкм от интенсивности ее подачи при тушении пламени бензина

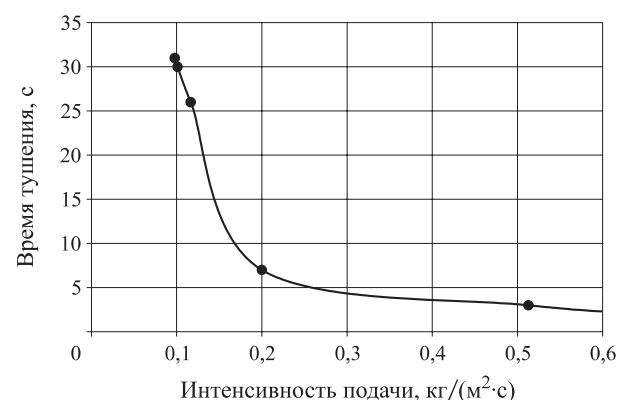


Рис. 3. Зависимость времени тушения пламени бензина от интенсивности подачи порошка со средним размером частиц 110 мкм из огнетушителя ОП-4

ния [9, 10]. Однако механизм ингибирования неясен до настоящего времени.

Аналогичный результат получен при экспериментальном исследовании процесса тушения пламени углеводородов высококипящим фреоном (с температурой кипения около 60 °С), поданным в очаг горения струями различной дисперсности. На рис. 4 и 5 представлены результаты тушения гептана, дизельного топлива и этанола фреоном 114B2.

Тушение достигалось при небольших интенсивностях подачи фреона, которые снижались в два раза при увеличении дисперсности с 80 до 20 мкм. Абсолютная величина интенсивности была очень низкой и изменялась от 0,05 до 0,008 кг/(м²·с). Такое коли-

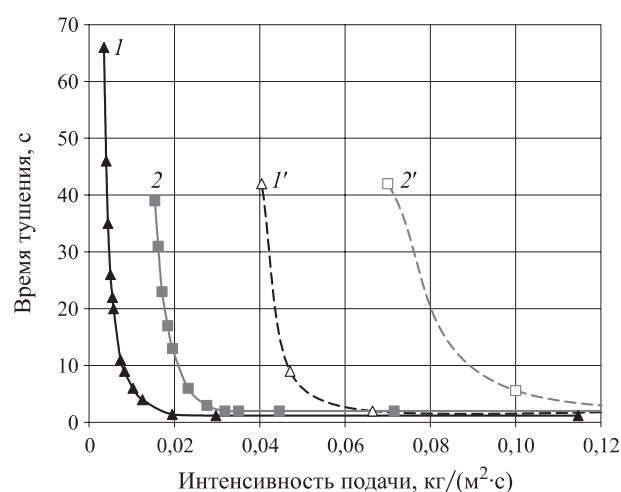


Рис. 4. Зависимость времени тушения пламени дизельного топлива (I , I') и гептана (2 , $2'$) фреоном 114B2 дисперсностью 20 мкм (I , 2) и 80 мкм (I' , $2'$) от интенсивности его подачи

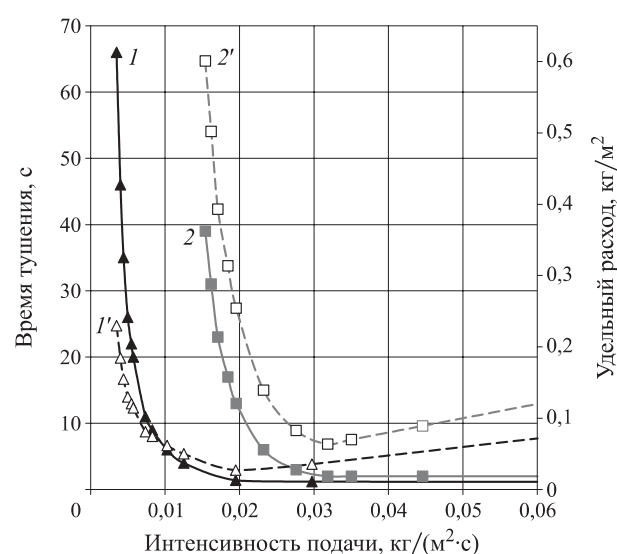


Рис. 5. Зависимость времени тушения (I , 2) и удельного расхода фреона 114B2 (I' , $2'$) при тушении пламени дизельного топлива (I , I') и гептана (2 , $2'$) от интенсивности подачи фреона со средней дисперсностью 20 мкм

чество фреона не может отнять заметное количество тепла от факела пламени в целом, но способно эффективно снизить температуру на локальном участке горячей жидкости. Такие результаты свидетельствуют о локальном механизме взаимодействия факела пламени с фронтом распыленного огнетушащего вещества.

Анализ результатов тушения распыленной водой показывает, что происходит поглощение огнетушащим веществом половины общего количества тепла, выделяемого при горении ГЖ. Это требует анализа процесса тушения с иных позиций.

В связи с этим предлагается механизм тушения, который предусматривает два этапа. Первый — взаимодействие потока огнетушащего вещества с частью факела пламени, которая соприкасается с фронтом ОТВ. В этом случае поток огнетушащего вещества взаимодействует только с небольшим (локальным) участком пламени, в результате чего происходит поглощение не только половины тепла от факела на этом участке, но и практически охлаждение его до температуры, близкой к температуре кипения воды. Это вызывает прекращение горения непосредственно на фронте движения огнетушащей струи. Такой “локальный” механизм взаимодействия струи распыленной воды с пламенем приводит к испарению большей или меньшей части струи в зависимости от ее дисперсности.

Второй этап процесса тушения распыленной водой предусматривает “растекание” водяного пара по горячей поверхности слоем определенной толщины. Чем выше дисперсность распыленной воды, тем больше объем водяного пара и тем выше скорость покрытия им горячей поверхности. Аналогичный механизм процесса тушения пламени реализуется при использовании распыленного фреона, распыленного порошка и твердого аэрозоля, а также пены низкой кратности. Характерной особенностью начала процесса тушения распыленным потоком ОТВ является резкое увеличение объема факела пламени, что объясняется наличием эжектируемого дополнительного потока кислорода воздуха [11–14].

Механизм тушения пламени горючих жидкостей пеной низкой кратности сводится в основном ко второму этапу, когда определяющим является процесс растекания пены по горячей поверхности. Первый этап тоже может присутствовать, если пену подают на горящую поверхность с большой высоты, через факел пламени. Здесь также имеет место локальное взаимодействие падающей струи пены с участком факела пламени, а разрушение пены происходит через потери ее части при соприкосновении с небольшим участком факела пламени.

Тушение пламени достигается после растекания пены слоем определенной толщины, вплоть до со-

прикосновения с нагретой стенкой резервуара. Первые порции пены, падающие на горящую поверхность, взаимодействуют только с локальным потоком тепла от факела пламени. Здесь тепловой поток относится ко всей площади поверхности горения, поэтому удельный поток тепла оказывается значительно меньше всего теплового потока, выделяемого факелом пламени.

Тепловой поток, поступающий от факела пламени, можно оценить по количеству тепла, необходимому для испарения жидкости в процессе горения [4]. Величина теплового потока, падающего на поверхность горения, в 15–20 раз меньше теплового эффекта горения паров в воздухе, поэтому пена растекается по горячей поверхности, только частично разрушаясь как под действием тепла пламени, так и в результате контактного взаимодействия с нагретой поверхностью горячей жидкости [15].

При испытаниях рассмотренных выше огнетушащих веществ процесс тушения пламени горючей жидкости завершается растеканием тушащего слоя вещества по всей горячей поверхности. Следовательно, материальный баланс огнетушащего вещества в процессе тушения пламени горячей жидкости может быть описан одним уравнением, в котором в зависимости от типа огнетушащего состава изменяются только толщина тушащего слоя и удельная скорость потерь ОТВ.

В качестве примера рассмотрим решение уравнения материального баланса для случая тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой.

Материальный баланс процесса тушения пламени углеводородов методом покрытия горячей поверхности слоем водяного пара может быть представлен уравнением

$$q dt = US dt + h dS, \quad (1)$$

где q — расход распыленной воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

t — время тушения, с;

U — удельная скорость потерь вещества, пропорциональная площади поверхности растекающегося слоя, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

S — площадь горения, м^2 ;

h — средняя толщина слоя водяного пара, м.

Толщина тушащего слоя водяного пара изменяется в зависимости от места падения струи на горящую поверхность. Чем выше интенсивность подачи распыленной струи, тем больше толщина слоя пара в месте ее падения. Причем по мере удаления от места падения струи толщина слоя пара уменьшается.

Уравнение сохранения массы воды предусматривает анализ потерь водяного пара, который выносятся вместе с продуктами горения, и выявление зависимости времени тушения и удельного расхода распыленной воды от интенсивности ее подачи.

Принимая во внимание, что толщина слоя водяного пара в месте падения распыленной струи зависит от интенсивности ее подачи J , предложили формулу для расчета средней толщины тушащего слоя водяного пара:

$$h = (h_0 + \beta J)/2, \quad (2)$$

где h_0 — минимальная толщина тушащего слоя водяного пара, м;

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

Коэффициент β определяется граничными условиями: $h = h_0$ при $J = J_{\text{кр}}$, поэтому

$$\beta = h_0/J_{\text{кр}}, \quad (3)$$

где $J_{\text{кр}}$ — критическая интенсивность подачи распыленного раствора, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

С учетом формулы (3) уравнение (1) может быть решено при начальных условиях $\tau = 0$; $S = 0$. Заменив отношения $q/S_0 = J$ получали формулу

$$\tau = -\frac{h_0}{2J_{\text{кр}}} \left(1 + \frac{J}{J_{\text{кр}}} \right) \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (4)$$

Объемный расход водяного пара q_v рассчитывали по формуле

$$q_v = q_m \cdot 22,4/M_v, \quad (5)$$

где q_m — массовый расход водяной струи, $\text{кг}/\text{с}$;

M_v — молярная масса воды.

Удельный расход Q распыленной воды, затраченной на тушение пламени, рассчитывали умножением времени тушения на соответствующую интенсивность подачи:

$$Q = -\frac{h_0 J}{2J_{\text{кр}}} \left(1 + \frac{J}{J_{\text{кр}}} \right) \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (6)$$

Анализ формулы (6) показывает, что зависимость удельного расхода распыленной воды от интенсивности ее подачи имеет минимум, который расположен в области оптимальной интенсивности подачи огнетушащего вещества. Наличие минимума на кривой расхода ОТВ экспериментально обнаружено для всех испытанных огнетушащих веществ.

Сопоставление результатов расчета по принятой модели с экспериментальными данными представлено на рис. 6.

Формулы (4) и (6) описывают зависимость времени и удельного расхода при тушении пламени от интенсивности подачи всех испытанных огнетушащих веществ — распыленной воды, огнетушащего порошка, хладона и пены низкой кратности.

При тушении порошком была выявлена роль степени дисперсности его частиц в этом процессе. Повышение дисперсности порошка от 100–110

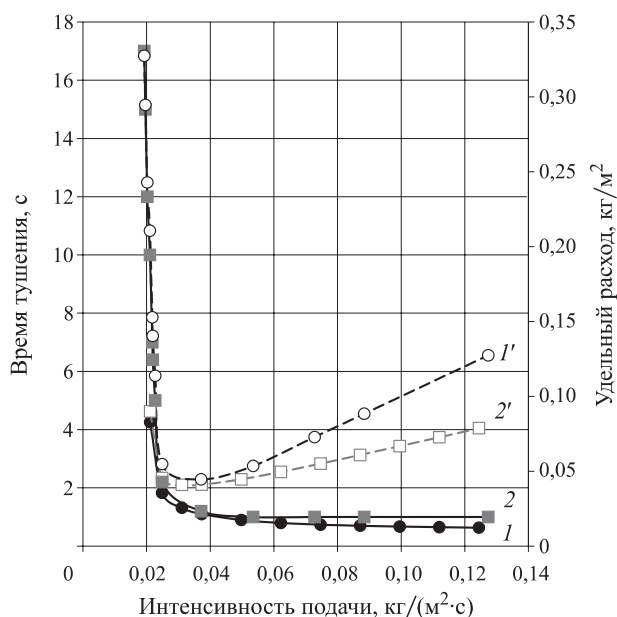


Рис. 6. Зависимости времени тушения дизельного топлива (1, 2) распыленной струей воды дисперсностью 20 мкм и ее удельного расхода (1', 2'), полученные экспериментально (1, 1') и расчетом (2, 2')

до 40–60 мкм позволило снизить его минимальный удельный расход с 2,3 до 0,7 $\text{кг}/\text{м}^2$, а оптимальную интенсивность — с 0,4 до 0,1 $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Эти результаты показывают определяющую роль, которую играет дисперсность частиц порошка в процессе тушения.

Учитывая эффективность известного состава [5], в котором используется смесь карбамида с содой, были проведены опыты по тушению пламени бензина композицией карбамид – сода (1:1), приготовленной непосредственно перед испытанием, так как этот состав очень гигроскопичен. Результаты испытаний представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, на кривых зависимости удельного расхода от интенсивности наблюдается явно выраженный минимум.

Процесс тушения пламени горючей жидкости порошком аналогичен тушению распыленной водой. Вначале наблюдалось прекращение горения перед фронтом порошковой струи, а затем концентрированная взвесь порошка в воздухе стала растекаться слоем по горячей поверхности жидкости. В отличие от предсказанного расщепления частиц [5] под действием распадающихся от теплового потока молекул карбамида на CO_2 и аммиак частицы порошка не растрескивались и не распадались на более мелкие. Теплового потока, соприкасавшегося с фронтом распыленного порошка, явно не хватало на термическое разложение молекул карбамида. При использовании композиции порошка с карбамидом тушение также проходило по “локальному” механизму, при этом тепла от части факела было недостаточно

для фазовых превращений и тем более для разложения молекул мочевины.

Материальный баланс пены, поданной в резервуар на тушение пламени, позволяет получить расчетную формулу, аналогичную той, что используется при тушении распыленной водой:

$$\tau = -\frac{\rho_f h_s}{2J_{крf}} \left(1 + \frac{J}{J_{крf}}\right) \ln \left(1 - \frac{J_{крf}}{J}\right), \quad (7)$$

где ρ_f — плотность пены, кг/м³;

h_s — минимальная толщина слоя пены, которая определяется величиной сдвигового напряжения, м;

$J_{крf}$ — критическая интенсивность подачи пены, определяемая скоростью термического и контактного разрушения пены при растекании по горячей поверхности жидкости, кг/(м²·с).

В отличие от формулы (4) здесь учитывается специфика пены, которая заключается в том, что она является структурированной системой с предельным напряжением сдвига, упругостью и неньютоновской вязкостью [16–18]. Один из вариантов формулы (7) был предложен в работе [19].

Соответственно, для расчета удельного расхода пены Q_f получена формула, аналогичная (6):

$$Q_f = -\frac{\rho_f h_s}{2J_{крf}} \left(1 + \frac{J}{J_{крf}}\right) \ln \left(1 - \frac{J_{крf}}{J}\right). \quad (8)$$

На рис. 7 приведены результаты расчета по формулам (7) и (8) и экспериментальные данные по тушению гептана подачей пены на горящую поверхность и в слой горючего.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных проведено для двух способов тушения: подачи пены на горящую поверхность и подачи пены в слой горючей жидкости. Для “подслойного” тушения использовали пленкообразующий пенообразователь “Шторм Ф”, а для подачи пены на горящую поверхность — пенообразователь “Шторм М”. Сопоставление проводили по времени тушения и удельному расходу пенообразователя, использованного для тушения пламени, в расчете на единицу площади потушенной поверхности жидкости. С использованием формул (7) и (8) удастся удовлетворительно описать зависимости времени тушения и удельного расхода пенообразователя для обоих способов тушения пламени пеной низкой кратности. Результаты сопоставления расчетных данных с экспериментальными приведены на рис. 6 и 8. Заметное различие расчетных и экспериментальных данных наблюдается в области больших интенсивностей подачи пены. Это можно объяснить тем, что в рассмотренной модели процесса тушения не учитывается зависимость удельной скорости термического разруше-

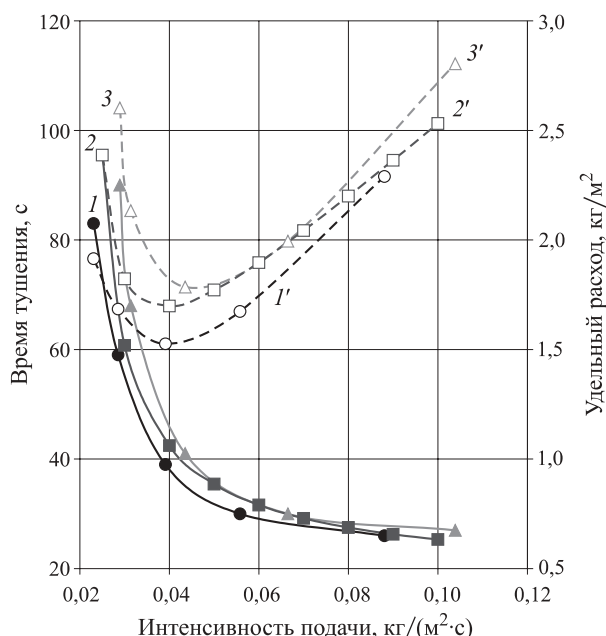


Рис. 7. Зависимости времени тушения гептана подачей пены на горящую поверхность (1–2) и удельного расхода пенообразователя “Шторм М” (1’–2’), полученные экспериментально (1, 1’) и расчетом по формулам (7) (2, 2’) и (8) (2’, 2’)

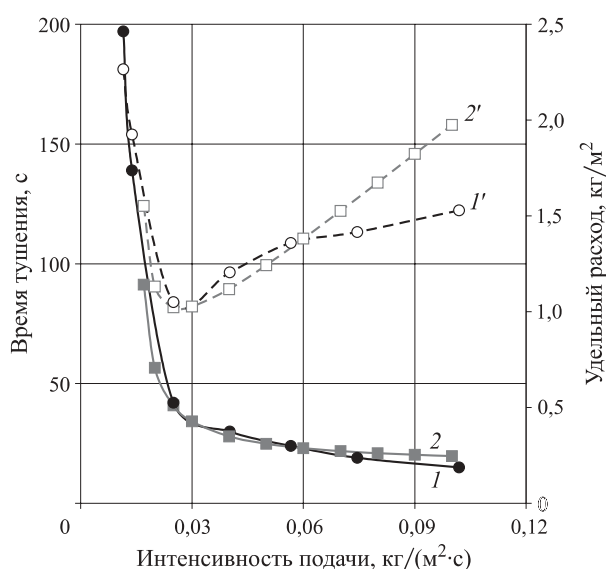


Рис. 8. Зависимости времени тушения гептана подачей пены в слой горючего (1, 2) и удельного расхода пенообразователя “Шторм Ф” (1’, 2’), полученные экспериментально (1, 1’) и расчетом по формулам (7) (2, 2’) и (8) (2’, 2’)

ния пены от степени покрытия ею горячей поверхности [15].

Выводы

Результаты комплексных экспериментальных исследований процесса тушения пламени углеводородов различными типами огнетушащих веществ, включая распыленную воду, огнетушащий порошок, химически активный фреон и пену низкой кратности

сти, позволили обосновать “локальный” механизм тушения пламени жидкостей огнетушащими веществами.

Результаты расчета времени тушения пламени горючих жидкостей и удельного расхода различных

типов огнетушащих веществ показали удовлетворительное совпадение расчетных данных с результатами эксперимента, что стало основанием для вывода о “локальном” механизме тушения пламени огнетушащими веществами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М. : АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М. : Стройиздат, 1975. — 240 с.
3. Абдурагимов И. М., Говоров В. И., Макаров Е. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВИПТШ МВД РФ, 1988. — 255 с.
4. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 267 с.
5. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. — 2011. — № 1-2. — С. 331–335.
6. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
7. Nash P. The essentials of dry powder and gaseous extinguishing systems // Fire Prev. — 1977. — No. 118. — P. 21–45.
8. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 63–68.
9. Баратов А. Н., Иванов Е. Н. Пожаротушение на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. — М. : Химия, 1971. — 416 с.
10. Абдурагимов И. М. Огнетушащие средства и способы их применения // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. — 1976. — Т. XXI, № 4. — С. 379–387.
11. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
12. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.
13. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 4. — С. 72–76.
14. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. — 2013. — Vol. 475-476. — P. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
15. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
16. Дерягин Б. В., Обухов Е. В. Упругие свойства пен и тонких пленок. II. Экспериментальная проверка теории // Журн. физ. химии. — 1936. — Т. 7, № 3. — С. 18–22.
17. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 335 с.
18. Шароварников А. Ф., Кокорев Е. В. Исследование вязко-упругих свойств высокочастотных пен // Коллоидный журнал. — 1981. — Т. 43, № 2. — С. 178–183.
19. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Изд. МКХ РСФСР, 1961. — 143 с.

Материал поступил в редакцию 26 октября 2015 г.

Для цитирования: Корольченко Д. А. Анализ процесса тушения пламени горючих жидкостей дисперсными огнетушащими веществами и пеной низкой кратности // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 51–58. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.51-58.

ANALYSIS OF THE PROCESS OF EXTINGUISHING OF A FLAME OF FLAMMABLE LIQUIDS BY DISPERSE EXTINGUISHING AGENTS AND LOW EXPANSION FOAM

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

ABSTRACT

Ability of fire extinguishing agents to absorb half of the heat flow escaped while burning, that can lead to flame extinction, raises doubts in calculation of the thermal balance of a powder and, further, of sprayed water. It turned out that the balance of heat has a big advantage towards heat escaped during flame combustion. Amount of powder or sprayed water become insufficient to absorb half of the heat flow of flame. This work contains data and results of complex experimental and theoretical researches of the process of extinguishing of the flame of hydrocarbons by various types of fire extinguishing agents, including sprayed water, fire extinguishing powder, reactive freon and low expansion foam. On the basis of experimental researches of the process of extinguishing by means of streams of dispersed extinguishing agent and low expansion foam it is offered and substantiated the “local” mechanism of suppression of a flame of liquids by extinguishing agents. Existence of the minimum on curves of dependence of specific consumption on flow rate in the area of optimal flow rate of extinguishing agent is experimentally shown and theoretically substantiated. It is also offered two-stage mechanism of suppression. The first stage consists in interaction of the stream of extinguishing agent with part of a flame jet which is in contact with front of extinguishing agent. The flow of extinguishing agent interacts only with a small (local) area of the flame. Fire extinguishing agent allows not only to absorb half of the heat from flame jet in a local part, but also to cool it practically up to the temperature close to water boiling point. It leads to termination of burn directly on the front of movement of a fire extinguishing stream. Such “local” mechanism of interaction of sprayed water stream leads to evaporation of larger or smaller part of sprayed stream depending on its dispersion degree. The second stage of suppression process provides spreading of water vapor, as a layer of certain thickness, over the burning surface. The higher dispersion degree of sprayed water, the larger volume of water vapor and higher it’s covering rate of burning surface. Such extinguishing mechanism is also implemented in case of application of sprayed freon, sprayed powder, solid aerosol and low expansion foam. Standard equations for calculation of time and specific consumption of different types of extinguishing agents during suppression of flammable liquids are proposed. Satisfactory congruence of experimental results with data obtained by calculation using formulas which correspond to the “local” mechanism of suppression of a flame by fire extinguishing substances is shown.

Keywords: extinguishing agents; sprayed water; extinguishing powder; reactive freon; low expansion foam; flame extinguishing mechanism.

REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye gorenije zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
2. Shrayber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Extinguishing media. Chemical-physical processes in combustion and extinguishing]. Moscow, Stroyizdat, 1975. 240 p.
3. Abduragimov I. M., Govorov V. I., Makarov Ye. V. *Fiziko-khimicheskiye osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physico-chemical basis of development and extinguishing of fires]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of Russia, 1988. 255 p.
4. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing of combustible liquids’ flame]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p.
5. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. *Primeneniye tonkoraspnylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysoknykh zdaniyakh* [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.

6. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Vliyaniye dispersnosti kapel vody na effektivnost tusheniya pozharov goryuchey zhidkosti [Impact of dispersion of water drops on the efficiency of fire extinguishing of combustible liquid]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
7. Nash P. The essentials of dry powder and gaseous extinguishing systems. *Fire Prev.*, 1977, no. 118, pp. 21–45.
8. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye plameni ognetushashchimi poroshkami i aerolnymi sostavami [Extinguishing of a flame by dry chemical powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 63–68.
9. Baratov A. N., Ivanov E. N. *Pozharotusheniye na predpriyatiyakh khimicheskoy, neftekhimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti* [Fire extinguishing at the enterprises of chemical, petrochemical and oil-processing industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 416 p.
10. Abduragimov I. M. Ognetushashchiye sredstva i sposoby ikh primeneniya [Fire extinguishing means and ways of their application]. *Zhurnal Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva — Magazine of All-Union Chemical Society named after D. I. Mendeleev*, 1976, vol. XXI, no. 4, pp. 379–387.
11. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
12. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognetushashchimi veshchestvami [Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88.
13. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti heptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
14. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 475–476, pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
15. 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.
16. Deryagin B. V., Obukhov E. V. Uprugkiye svoystva pen i tonkikh plenok. II. Eksperimentalnaya proverka teorii [Elastic properties of foams and thin films. II. Experimental verification of the theory]. *Zhurnal fizicheskoy khimii — Russian Journal of Physical Chemistry*, 1936, vol. 7, no. 3, pp. 18–22.
17. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. Penobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye [Foam concentrates and fire extinguishing foams. Structure, properties, application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 335 p.
18. Sharovarnikov A. F., Kokorev Ye. V. Issledovaniye vyazko-uprugikh svoystv vysokokratnykh pen [Research of visco-elastic properties of high expansion foams]. *Kolloidnyy zhurnal — Colloid Journal*, 1981, vol. 43, no. 2, pp. 178–183.
19. Petrov I. I., Reutt V. Ch. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Suppression of combustible liquids flame]. Moscow, Ministry of Utilities Sector Publ., 1961. 143 p.

For citation: Korolchenko D. A. Analiz protsessa tusheniya plameni goryuchikh zhidkostey dispersnymi ognetushashchimi veshchestvami i penoy nizkoy kratnosti [Analysis of the process of extinguishing of a flame of flammable liquids by disperse extinguishing agents and low expansion foam]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 51–58. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.51-58.

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

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

Н. Н. РЯЗАНЦЕВ, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: n-r-60@mail.ru)

УДК 614.841

НОВЫЙ КЛАСС МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Освещены преимущества использования тонкораспыленной воды для противопожарной защиты различных объектов, в том числе энергетических под напряжением. Показано, что для создания мелкодисперсных потоков необходимы новые виды распылителей струйного типа, которые отвечают требованиям безопасности при эксплуатации и обеспечивают высокоэффективную противопожарную защиту. Разработаны распылители, действие которых основано на эффекте кавитации в каналах и жидкостных вихрях. Экспериментальными исследованиями подтверждены заявленные дисперсные и электрические параметры созданных мелкодисперсных распылителей, а также их высокая пожаротушающая эффективность.

Ключевые слова: тонкое распыление; пожаротушение; кавитация; дисперсность; электробезопасность.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.59-68

Успешное тушение пожара тонкораспыленной водой (ТРВ) обуславливается разработкой новых типов распылителей, их размещением, скоростью потоков окружающего газа и типом горючего вещества.

Экспериментальные работы с тонкораспыленной жидкостью показывают, что такой агент, как ТРВ, может иметь широкое распространение в области пожаротушения и подавления очагов легковоспламеняющихся жидкостей и тлеющих пожаров. Хорошие результаты были получены при тушении больших пожаров на энергетических объектах при помощи тонкораспыленной воды, называемой за рубежом “водяным туманом”.

В настоящее время установлено [1–3], что наибольшей эффективностью при тушении пожаров класса А (твердых горючих материалов) обладает тонкораспыленная вода с размером капель до 150 мкм. Для получения капель наиболее оптимального размера необходимо использовать распыляющее устройство специальной конструкции с оптимальным давлением перед ним. Применение воды высокой степени дисперсности позволяет значительно интенсифицировать процесс охлаждения поверхности энергетического оборудования с высокой температурой.

Помимо этого, мелкие капли воды, диаметр которых совместим с диаметром пор трещин, имеющихся на поверхности горящего материала, проникают внутрь его, где происходит их испарение и, как следствие, ликвидация гетерогенного горения.

Тонкораспыленная вода может использоваться при защите кабельных тоннелей и электрооборудования под напряжением [4, 5] при малой объемной концентрации капель в потоке ($< 0,05$), что обуславливает слабое изменение активной электрической проводимости воздушно-капельной среды относительно воздушной. Этот эффект был изучен экспериментально.

Смачивания и охлаждения твердого горючего легче достичь при использовании распыленной воды с размером капель более 400 мкм, однако для этого требуется большее количество воды. Основное преимущество водяного тумана с размером капель менее 150 мкм состоит в более высокой скорости поглощения тепла от горючих газов и пламени. Как показали расчеты по зависимостям, приведенным в [6], время преобразования капель воды в пар при движении в горючем газе с температурой 700 °С составляет при диаметре 40–80 мкм 0,02–0,06 с,

а при диаметре 180–200 мкм — 0,20–0,26 с, т. е. в несколько раз больше. При этом увеличивается расстояние, которое проходят капли в зоне пламени, например от 0,15 до 1 м при их начальной скорости 20 м/с. По этой причине крупные капли (более 200 мкм) проходят зону пламени, почти не испаряясь, особенно на начальной очаговой стадии развития пожара, когда зона горячих газов не превышает 0,1–0,2 м. Суммарная площадь поверхности капельного объема, отнесенная к массе всех капель, увеличивается обратно пропорционально радиусу капель ($1/r$), поэтому, кроме повышения скорости испарения, увеличивается суммарная площадь испарения мелких капель и общий уровень потерь тепла при пожаре. Известно, что тепловыделение при развитом пожаре, например, класса А составляет 70–90 кВт/м². Тогда при коэффициенте использования воды, равном 1 (поглощение ~2,5 МДж/кг при парообразовании), необходима интенсивность ее подачи 0,030–0,039 кг/(м²·с) для полного поглощения выделяющегося тепла и снижения температуры примерно до 100 °С. По другим данным для локализации пожара необходимо поглощение 20 % удельной теплоты пожара [7]. Например, при горении древесины в стандартных условиях тепловыделение равно 0,26 МВт/м², тогда поглощение составляет 0,052 МВт/м², необходимая минимальная интенсивность орошения — 0,023 кг/(м²·с). Имеется еще достаточно большое количество данных по тепловыделению от очагов возгораний различных классов.

Однако расчеты, основанные исключительно на тепловом балансе, не учитывают эффекта снижения концентрации кислорода в зоне пламени. При быстром испарении водяной пар замещает воздух в зоне горения, что пропорционально снижает скорость горения материала и интенсивность тепловыделения. Если количество присутствующего в данном объеме кислорода уменьшается с 23 до 13 %, то тепловыделение сокращается почти вдвое, поэтому возгорание может быть легче подавлено. Как уже говорилось, этот эффект достигается прежде всего тонкораспыленной водой с малым размером капель. В то же время существует ограничение по минимальному размеру капель, так как от очага горения исходит конвективный поток горячих газов (со скоростью порядка 7,7 м/с при развитом пожаре [8]), который уносит мелкие капельки не только от горячей поверхности, но и от диффузионного пламени. Теоретические расчеты показали, что названный эффект уноса капель от зоны горения наиболее ярко проявляется для капель размером менее 20 мкм [8]. Механизм тушения вытеснением кислорода из зоны горения становится доминирующим при увеличении времени тушения, так как для его проявле-

ния необходима определенная концентрация паров во всем помещении.

Одним из условий подавления огня является затухание теплового излучения. Эксперименты показали, что тепловой поток в области длин волн 1–6 мкм от стандартных очагов возгорания снижается более чем в 4 раза на расстоянии от них 1,7 м при наличии в помещении водяного тумана [9]. Высокие поверхностные температуры, которые наблюдаются при пожарах классов А и Б, обычно значительно повышают потери тепла от горящих материалов. Поэтому для толстых бревен и других массивных предметов процесс горения возможен лишь при наличии внешнего теплового потока от других раскаленных поверхностей, пламени с частичками сажи и горячих газов над потолком. Тепловое излучение можно уменьшить путем его экранирования и поглощения мелкими частицами воды при их большой концентрации и радиусах, сравнимых с длиной волны теплового излучения.

Условия тушения пожара тонкораспыленной водой диктуют необходимость в каждом конкретном случае уточнять интенсивность ее подачи. Наиболее сложным при этом является вопрос об оптимальной дисперсности капель жидкости для эффективного тушения пламени.

Для прекращения процесса горения необходимо понизить температуру поверхности жидкости или твердого вещества ниже температуры воспламенения. При пожаре температура поверхности поддерживается на высоком уровне за счет теплообмена с газом, который нагревается при экзотермической реакции окислителя в газовой фазе (горения). Таким образом, принципиально существует два пути ликвидации очага пламени: охлаждение пристенных газов за счет блокирования выделения тепла реакции окислителя либо охлаждение поверхности горючего материала. Энтальпия газовой фазы в сумме с теплотой горения всегда значительно выше энтальпии материала. Сток тепла за счет фазового превращения воды в пар ограничен теплом фазового перехода, умноженным на расходную концентрацию капель. При подаче водяных капель снижение энтальпии, а следовательно, и температуры поверхности материала всегда более существенно, чем газа в зоне реакции. В большинстве случаев названные механизмы при тушении проявляются одновременно, а время тушения зависит от продолжительности пребывания и концентрации капель воды в зоне горения и от количества воды, достигающей поверхности горения. Мощный конвективный поток устремляющихся вверх горячих газов уносит с собой не только охлажденные водой продукты горения, но и сами капли. Способность капель противостоять этому зависит от их размера. Очевидно, очень мелкие кап-

ли (~1 мкм) полностью следуют за потоками газа и не попадают ни на поверхность, ни в зону горения. Большие капли (если они будут каким-либо способом доставлены к поверхности горения) проходят зону горения и достигают ее поверхности, но при том же расходе их концентрация будет значительно меньше и, следовательно, их охлаждающее действие будет только локальным. Другими словами, в одних местах капель будет много, а в других — их вообще не будет. По этим “пустотам” вновь будет распространяться процесс горения. К тому же при больших каплях отношение их объема к площади поверхности всегда будет больше, чем для мелких капель, а процесс испарения и, следовательно, сток тепла будет происходить с поверхности. Тогда при том же расходе воды наибольшая интенсивность этого стока может оказаться вне зоны максимального тепловыделения и поверхности горения.

Движение капель в вихревом поле, образующемся около пламени, имеет чрезвычайно сложный характер и зависит от структуры вихрей. Под действием градиента скорости газовой среды капли начинают вращаться, что приводит к появлению дополнительной составляющей скорости частицы (эффект Магнуса). В зависимости от структуры газового вихря частицы будут мигрировать к пламени или от него. В большинстве случаев частицы двигаются в сторону меньших градиентов скорости среды, т. е. для нашего случая от пламени. По этой причине необходимо создание направленного высокоскоростного дальнобойного потока капель, особенно мелких — размером менее 100 мкм. Это важно для обеспечения для пожарных возможности тушить пламя с большого расстояния.

В мировой практике понятие “тонкое распыление воды” при использовании ее в качестве огнетушащего вещества характеризуется условием создания на расстоянии 1 м от распылителя облака водяных капель, 99 % объема которых имеет диаметр менее 1 мм.

В настоящее время у нас в стране принято понятие тонкораспыленной воды как капельного потока со средним арифметическим диаметром капель $D_{10} \leq 150$ мкм. Во многих отношениях установку для пожаротушения, использующую тонкораспыленную воду, можно считать гибридом известных систем, осуществляющих как объемное, так и поверхностное тушение. Задачами противопожарной защиты, решаемыми при использовании систем с тонким распылением воды, являются:

- а) тушение пожаров;
- б) подавление возгорания;
- в) регулирование пожаров, т. е. ограничение распространения горения.

Тушение пожара — это полная ликвидация любого вида горения различных веществ и материалов. Подавление пожара — резкое снижение температуры в зоне пожара и предотвращение повторного распространения огня путем предварительного увлажнения расположенных рядом с очагом горения легковоспламеняющихся веществ и контроль температуры газов с помощью датчиков в целях предотвращения повреждения конструкции.

Кроме того, система тонкого распыления воды как составная часть комбинированной системы пожаротушения, которая включает еще, например, газовую (хладоновую) систему пожаротушения, решает задачи регулирования температуры в помещении и защищает его от теплового (инфракрасного) излучения.

При проектировании распылителей (форсунок) необходимо достаточно ясно представлять механизм дробления жидкости. В настоящее время широкое распространение получает представление о процессе дробления как о явлении развития неустойчивости течения жидкости со свободными границами в виде струй или плен. При этом разделяют это явление на неустойчивость, связанную с воздействием твердой стенки газа или жидкости на поверхность жидкого образования перпендикулярно вектору его скорости или ускорения, и неустойчивость, обусловленную касательными напряжениями, возникающими за счет разности скоростей в жидкости и обтекающем ее газе. Первый тип механизма дробления характерен для диспергаторов ударного типа и механических форсунок с большой начальной скоростью истечения жидкости (100 м/с) в неподвижный газ, второй тип превалирует в газожидкостных орошителях и в струйных форсунках при малых начальных скоростях истечения жидкости. В реальных диспергаторах оба механизма действуют одновременно. Развитие процесса неустойчивости течения приводит к деформации и разрушению струй, пленок и капель жидкости. В силу сложности этого явления сам процесс разрушения в настоящее время не имеет полного математического описания. Очевидно, при дроблении реализуется баланс сил поверхностного натяжения, вязкости и инерции. При различных начальных скоростях жидкости относительно газа и физических параметрах жидкости и газа (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) характер дробления существенно меняется. В общем случае силы давления, возникающие в движущейся жидкости при воздействии на ее поверхность другой жидкости, газа или твердой стенки, стремятся увеличить объем тела, а силы поверхностного натяжения — уменьшить площадь поверхности.

Механизм дробления струи, покинувшей насадок, зависит главным образом от формы вытека-

ющей струи и соотношения скоростей струи и окружающего газа, которые, в свою очередь, определяются способом распыления, классом и конструкцией выходного устройства. Наиболее вероятная картина разрушения струй связана с упругими колебаниями ее поверхности. Колебания имеют затухающий характер, а распад струи может произойти в месте возникновения колебаний. Череду сужений и расширений по длине струи обуславливает не упругими колебаниями, а лапласовыми силами, имеющими постоянное направление. Жидкость из места сужения будет перетекать в места расширения, и этот переток необратим, поскольку лапласовы силы действуют в том же направлении. Начавшееся в данном сечении сужение будет только сужаться, а расширение — только расширяться. Так образуется последовательная цепь сужений и расширений по длине струи. На длину нераспавшегося участка струи влияет перепад давления на насадке. В [10] установлены два максимума давления, определяющие длину нераспавшегося участка.

Истекающие из соплового насадка капли взаимодействуют с окружающим воздухом, который может существенно деформировать их или же полностью разрушить. На это взаимодействие накладывается нестационарность режима движения капель: они могут либо тормозиться, либо ускоряться потоком газа. Так как первоначальный распыл полидисперсен, на некотором расстоянии от насадка скорость капель различных размеров может существенно различаться, что служит причиной их взаимных столкновений. Последнему может способствовать также пересечение траекторий движения частиц, обусловленное соударением струй в насадках с пересечением струй и в кольцевых насадках.

Различная организация процесса движения и взаимодействия жидкостных струй [11] позволяет создавать диспергаторы различных типов и схем. Центробежные и эвольвентные распылители используют для создания направленного потока капель взаимодействие пелен жидкости, которые обладают большой тангенциальной скоростью распространения в пространстве распыления, поэтому использование их для нужд пожаротушения нецелесообразно. В струйных распылителях при достаточно больших скоростях истечения жидкости из насадков различных форм дробление на капли осуществляется за счет кинетической энергии жидкости при преобразовании потенциального перепада давления.

Основными гидравлическими характеристиками любого типа распылителей (форсунок) являются: коэффициент расхода μ , дисперсность распыления, которая характеризуется усредненными диаметрами совокупности капель D_{10} , D_{32} и др., а также углом распыления и равномерностью распределе-

ния жидкости на орошаемой поверхности или в объеме факела. В общем случае поток капель является полидисперсным. Для его описания пользуются средними радиусами (диаметрами) частиц, определяемыми с помощью счетной функции распределения $f(r)$ ($f(D)$).

В настоящее время применяется нормально-логарифмический закон распределения, предложенный А. Н. Колмогоровым:

$$f(r) = \frac{\lg e}{\sqrt{2\pi r} \lg G} \exp \left[- \left(\frac{\lg r - \lg r_0}{\sqrt{2} \lg G} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где r_0 , $\lg G$ — соответственно математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение логарифмов радиусов капель.

При расчетах течений для нужд пожаротушения полезно заменить полидисперсный поток монодисперсным с некоторым эквивалентным радиусом при сохранении истинных площади и объемов капель, чему соответствует средний размер D_{32} :

$$D_{32} = \frac{\int_0^\infty D^3 f(D) dD}{\int_0^\infty D^2 f(D) dD}, \quad (2)$$

где D — диаметр капель; $D = 2r$.

Для определения эффективности тушения необходимо знать площадь поверхности капель F , находящихся в зоне горения, которую можно определить по формуле [10]:

$$F = f_{уд} Q t, \quad (3)$$

где $f_{уд}$ — удельная площадь поверхности;

Q — объемный расход жидкости;

t — время воздействия капель на очаг горения.

Удельная площадь поверхности определяется как

$$f_{уд} = \frac{6 \sum D_i^2 n_i}{\sum D_i^3 n_i}, \quad (4)$$

где n_i — численная концентрация капель диаметром D_i .

Из выражений (2) и (4) нетрудно получить взаимосвязь удельной площади $f_{уд}$ со средним диаметром D_{32} [8]:

$$f_{уд} = 6/D_{32}. \quad (5)$$

Измерение диаметров D_{32} и D_{10} производится оптическим измерителем типа “Malvern Spraytek”, основанным на дифракции полидисперсного потока капель. Такие измерения приняты в мировой практике как наиболее информативные.

Рассмотрим принципиальные особенности разработанных мелкодисперсных распылителей, гене-

рация тонкораспыленной струи в которых осуществляется за счет кавитации.

Высокоскоростной поток капель создается при течении жидкости (воды) в канале с пережатием типа сопла Лаваля [12]. Распыляющее устройство такого типа обладает наибольшей энергетической эффективностью при генерировании высокоскоростного потока капель, так как в них практически нет передачи энергии жидкости материалу стенок диспергатора или газу-пропилену, которая осуществляется в известных механических или газожидкостных форсунках. При кавитации в воде происходит высвобождение растворенного воздуха при давлении $p \leq 10$ кПа, а затем водяного пара — при $p \leq 3$ кПа непосредственно в самой жидкости. Парогазовые включения преобразуют поток в сжимаемый с микроволновыми процессами, возникающими при схлопывании пузырьков при попадании струи в атмосферу. Эти эффекты способствуют интенсивному дроблению такой струи.

Было обнаружено, что в конфузотно-диффузотном сопле образуется струйный газожидкостный поток, который интенсивно распыляется при попадании в воздушное пространство. Наиболее полно данный эффект реализуется, если угол сужения во входном конфузоре меньше угла расширения в выходном диффузоре. Такое сопло распылителя создает поток капель со среднеобъемным диаметром капель $D_{32} = 160 \dots 200$ мкм ($D_{10} = 90 \dots 120$ мкм) при давлении подачи 0,8 МПа. Скорость распыленной струи на расстоянии 3,5 м от среза насадка составляет 35 м/с. Таким образом, до сих пор нежелательное явление кавитации в гидравлических устройствах нашло новое высокоэффективное применение в мелкодисперсных распылителях.

Диспергаторы, использующие дробление соударяющихся струй, достаточно широко применяются в различных областях техники, в том числе в США при создании ракетных двигателей. Однако до сих пор использовалось соударение двух струй под углом, не превышающим 90° . Распылитель жидкости выполнен в виде корпуса с двумя соосными каналами одинакового поперечного сечения, предназначенными для встречной подачи жидкости и сопла, входное отверстие которого образовано пересечением внутренних поверхностей каналов с образующей сопла поверхностью [13]. Сопло имеет форму конического диффузора и ориентировано поперек каналов, а площадь входного отверстия диффузора не превышает суммарную площадь поперечного сечения каналов. При фронтальном “лобовом” столкновении двух струй в ограниченном объеме образуется кавитационный вихрь.

Полученный капельный поток имеет дисперсность $D_{32} = 100 \dots 130$ мкм ($D_{10} = 67 \dots 80$ мкм) при

давлении 1,2...2,5 МПа. Замеренные пьезоэлектрическим датчиком непосредственно перед распылителем частоты колебаний в подводящем канале составляют $f = 4 \dots 12$ кГц.

Дальнейшее развитие эффекта соударения струй реализовано в распылителе, выходное отверстие которого образовано пересечением поверхностей конуса и цилиндра [14]. Тонкое распыление воды с размером капель $D_{10} = 30 \dots 150$ мкм при давлении подачи ~ 1 МПа обеспечивается сложной геометрической формой сечения выходного отверстия сопла, образованного за счет частичного пересечения конической проточки внешней поверхности корпуса с двойными соосными цилиндрическими каналами для прохода и соударения жидкости. Формирование вихревого потока происходит дополнительно на кромках корпуса выходных каналов сложной геометрии. Форсунки распределены по наружной поверхности корпуса, по крайней мере, двумя горизонтальными рядами и выполнены в виде двойных соосных каналов в корпусе с одним выходным соплом.

Использование вихревой кавитации демонстрируется в распылителе более технологичной конструкции [15]. Распылитель жидкости содержит корпус с двумя перегородками, разделяющими внутреннюю полость вдоль направления течения жидкости на напорную и выходную камеры. В первой перегородке выполнены два отверстия равного диаметра, расположенные симметрично относительно оси симметрии напорной камеры. Во второй перегородке, служащей торцевой стенкой (кольцом) корпуса распылителя, имеется выходное отверстие распылителя, расположенное соосно с выходной камерой. Выходное отверстие распылителя выполнено такого размера, чтобы проекция кромки выходного отверстия распылителя на плоскость первой перегородки разделяла поперечное сечение каждого из двух отверстий первой перегородки на два сегмента. Боковая поверхность выходной камеры распылителя выполнена сужающейся в направлении течения жидкости.

Генерация потока капель осуществляется за счет взаимодействия двух дугообразных потоков, образующихся на кромке выходного отверстия в виде кольца, с размером капель $D_{32} = 150 \dots 200$ мкм, $D_{10} = 80 \dots 120$ мкм. Взаимодействие этих потоков жидкости с центральным жидкостным потоком приводит к генерации тонкораспыленного потока [16].

Распылитель жидкости содержит корпус с подводящим жидкость штуцером, завихритель центробежного типа, выполненный в виде полой вставки с входным осевым каналом и тангенциально направленными входными каналами в боковой стенке вставки. Полость цилиндрической вставки сообщается с входным отверстием профилированного, сужающегося в направлении течения сопла. Причем

площадь сечения тангенциальных каналов превышает в 4...6 раз площадь осевого канала. Жидкость из тангенциальных каналов смешивается с осевым потоком в суживающемся выходном сопле, в результате чего образуется устойчивый капельный поток с углом распыла 17...23° и средним диаметром капель $D_{10} \leq 150$ мкм, $D_{32} \leq 200$ мкм.

Реализация распылителей принципиально нового класса заключалась в создании опытных образцов распылителей, которые испытывались на эффективность применения для тушения модельных очагов пожара классов А и В, а также на возможность тушения электроустановок.

Метод определения характеристик распылителей основан на замере расхода через распылитель при ступенчатом изменении давления перед ним. Одновременно производился замер распределения капель по размерам с использованием дифракционного лазерного измерительного комплекса "Malvern Insitex System". Во время испытания проводилось ступенчатое изменение давления перед оросителем от 0 до 1,0 МПа с интервалом 0,2 МПа. На каждом уровне давления замеряли расход жидкости. Данные замеров давления подачи, расхода жидкости и средних размеров капель заносились в таблицу.

Метод снятия карты орошения и определения средней интенсивности орошения макетных образцов распылителей соответствует п. 5.14 [17].

Метод определения тока утечки по струе ОТВ на специализированном электростенде основан на замере переменного тока, проходящего по струе ОТВ при орошении мишени, находящейся под напряжением (36 ± 2) кВ, и соответствует методике, изложенной в [18].

Скорость капельного потока определялась лазерным корреляционным датчиком ЛКДС-1 с погрешностью $\pm 7\%$.

Полученные для каждого типа распылителя данные приведены в табл. 1–5.

Результаты измерений рабочих характеристик распылителей дают возможность отметить следующее. С повышением давления подачи и, следовательно,

расхода жидкости среднеарифметический размер D_{10} уменьшается из-за увеличения в потоке количества мелких капель, а среднеобъемный заутеровский размер D_{32} изменяется слабо при повышении давления с 0,4 до 1,0 МПа. Последнее обстоятельство объясняется тем, что заутеровский диаметр D_{32} малочувствителен к появлению мелких капель, объем которых пренебрежимо мал, а повышение расхода жидкости в связи с ростом давления ведет к увеличению суммарного объема всех капель. Удельная площадь поверхности капель при этом уменьшается или остается той же, что указывает на отсутствие однозначного положительного влияния повышения давления подачи жидкости на массотеплообмен распыленной

Таблица 2. Результаты экспериментального исследования распылителя с соударяющимися струями [13]

Параметр	Давление перед оросителем p , МПа				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m , л/с	0,620	0,870	1,07	1,240	1,385
D_{10} , мкм	212,86	138,50	119,07	108,83	88,12
$I_{\text{ут}}$, мА	0,21	0,11	0,17	0,12	0,11
D_{32} , мкм	358,71	267,74	252,16	222,46	258,52
v , м/с	18,1	23,9	30,1	31,8	37,9
J , л/(м ² ·с)	–	–	–	0,109	–

Таблица 3. Результаты экспериментального исследования распылителя с выходным отверстием сложной формы [14]

Параметр	Давление перед оросителем p , МПа				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m , л/с	0,190	0,260	0,325	0,375	0,420
D_{10} , мкм	244,06	143,66	131,02	109,85	72,10
$I_{\text{ут}}$, мА	0,13	0,17	0,16	0,17	0,15
D_{32} , мкм	314,25	288,03	257,31	225,12	254,92
v , м/с	18,4	26,0	31,8	37,0	41,1
J , л/(м ² ·с)	–	–	–	0,041	–

Таблица 1. Результаты экспериментального исследования кавитационного сопла [12]

Параметр	Давление перед оросителем p , МПа				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m , л/с	0,250	0,350	0,430	0,5	0,560
D_{10} , мкм	190,75	144,87	102,14	83,45	62,28
$I_{\text{ут}}$, мА	0,23	0,22	0,23	0,18	0,17
D_{32} , мкм	327	290,39	227,54	194,52	261,53
v , м/с	17,2	24,4	30,0	34,0	38,7
J , л/(м ² ·с)	–	–	–	0,059	–

Таблица 4. Результаты экспериментального исследования распылителя с соударением струй в сопловом кольце [15]

Параметр	Давление перед оросителем p , МПа				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m , л/с	0,330	0,460	0,57	0,65	0,730
D_{10} , мкм	204,09	161,61	124,75	103,18	99,80
$I_{\text{ут}}$, мА	0,16	0,12	0,26	0,23	0,18
D_{32} , мкм	339,21	304,31	252,23	225,67	203,6
v , м/с	17,4	23,7	30,6	32,5	38,4
J , л/(м ² ·с)	–	–	–	0,073	–

Таблица 5. Результаты экспериментального исследования струйно-вихревого распылителя [16]

Параметр	Давление перед оросителем p , МПа				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m , л/с	0,470	0,670	0,82	0,950	1,06
D_{10} , мкм	220,56	129,80	101,73	86,07	67,14
$I_{\text{ут}}$, мА	0,11	0,09	0,12	0,10	0,10
D_{32} , мкм	356,88	274,16	229,68	195,55	236,89
v , м/с	8,4	16,2	24,4	32,1	40,8
J , л/(м ² ·с)	—	—	—	0,11	—

жидкости с продуктами горения и эффективность тушения при давлении $p > 1,0$ МПа.

В то же время весь спектр размеров сдвигается в сторону мелких капель. В некоторых распылителях обнаруживается существенная неравномерность интенсивности орошения защищаемой площади. В этом отношении лучшие показатели наблюдаются у струйно-вихревых распылителей, а также у распылителей с соударяющимися струями. Это обстоятельство особенно важно учитывать для автоматических систем пожаротушения, для которых наличие участков защищаемой поверхности с недостаточной интенсивностью орошения может привести ко вторичному возгоранию.

Дополнительно проведены испытания по определению влияния пленкообразующего пенообразователя типа AFFF на характеристики распылителей. Гидравлические характеристики определялись при добавлении в воду 3...6 % пенообразователя. При этом размер капель D_{10} увеличился только на 10...12 %, что говорит об отсутствии ожидаемой сильной коагуляции. Это можно объяснить следующим обстоятельством. Стабилизация распыленного потока обеспечивается тем, что при обтекании капель происходит утончение разделяющих их прослоек поверхностно-активного вещества (ПАВ) и, как следствие, нарушение адсорбционного равновесия. Восстановление этого равновесия приводит к гидродинамическому сопротивлению такому вытеснению и к предотвращению слипания капель.

Необходимо также обратить внимание практически на неизменность тока утечки (± 3 %). На электростенде, кроме того, были проведены исследования по установлению предельных электробезопасных интенсивностей орошения мишени при характерных скоростях потока, для чего распылитель приближали к мишени. Вследствие этого орошаемая площадь уменьшалась, а интенсивность орошения увеличивалась [19].

Величина тока утечки по струе не превышала порогового нормативного значения 0,5 мА при ин-

тенсивности орошения мишени 0,4...0,6 л/(м²·с) и при скоростях капельного потока перед мишенью 21...35 м/с.

Для определения эффективности пожаротушения тонкораспыленной водой, генерируемой распылителями нового класса, на модельных очагах класса А (твердые горючие вещества) и класса В (горючие жидкости) были проведены испытания в огневом боксе, оборудованном контрольно-измерительными приборами для регистрации давления, расхода, времени свободного горения и тушения, а также тепловизором (типа FLIR System Termokam S60) для определения температуры модельных очагов возгорания.

Для очагов класса А использовались бруски из дерева хвойных пород, а для очага класса В — бензин АИ-92. Размер очага А соответствовал стандартному очагу 0,3А, который представлял собой штабель из брусков 0,03×0,03×0,5 м с количеством их в слое 4, количеством слоев 8, площадью свободной поверхности 1,27 м². Очаг класса В представлял собой круглый противень из листовой стали диаметром 200 мм и высотой 100 мм, в который заливали 0,3 дм³ воды и 0,7 дм³ бензина. Распылители были установлены на высоте 2,5 м от модельных очагов. Время свободного горения жидкости составило 60 с, твердого горючего материала — 6 мин. Для зажигания очага класса А применяли бензин в количестве 0,3 дм³, который заливали в поддон размером 200×200×100 мм.

Очаг типа 0,3А считался потушенным, если в штабеле отсутствовали светящиеся угли, а температура не превышала ~100 °С (что определялось тепловизором). После окончания тушения осуществлялось наблюдение за штабелем в течение 10 мин. Опыт считался положительным, если в течение этого периода отсутствовало открытое пламя. Отсчет

Таблица 6. Результаты тушения модельных очагов классов А и В

Тип распылителя по источнику	Тип очага	Время тушения, с, в трех опытах			J , л/(м ² ·с)
[12]	0,3А	38	37	39	0,059
[12]	1В	15	14	16	0,059
[13]	0,3А	32	30	28	0,109
[13]	1В	13	10	14	0,109
[14]	0,3А	39	33	34	0,0132
[14]	1В*	11	10	12	0,0132
[15]	0,3А	41	37	32	0,073
[15]	1В	17	20	18	0,073
[16]	0,3А	23	18	30	0,110
[16]	1В	15	17	13	0,110

* Тушение очага проводилось 3 %-ным водным раствором пенообразователя AFFF.

времени свободного горения очага 0,3А начинался с момента, когда открытым пламенем было охвачено не менее половины наружной поверхности материала и ее температура превышала 400 °С. После выгорания бензина поддон убирала из-под очага. На каждом распылителе проводилось не менее трех опытов при давлении подачи воды 1,0 МПа. Результаты испытаний представлены в табл. 6.

Из экспериментальных данных видно, что новый класс мелкодисперсных распылителей демонстрирует высокую эффективность подавления очагов пламени горючих твердых и жидких материалов. Для сравнения были проведены испытания стандартного оросителя ДУСО-РНО0,77-Р1/2-В1,5-ОПДР-15-УСА с интенсивностью орошения $J = 0,18 \dots 0,2$ л/(м²·с).

При этом очаг 0,3А не был потушен, а очаг В был потушен за 21 с только при использовании воды с 6 % пенообразователя типа АFFF. При испытании дренчера “Marioff” 4S000МС с интенсивностью орошения 0,06 л/(м²·с) очаг 0,3А был потушен за 86 с, очаг 1В при использовании чистой воды в неизолированном помещении — за 40 с. Следует отметить, что в соответствии с требованиями производителя давление подачи составляло 10 МПа, что в 10 раз больше, чем требуется для распылителей нового класса. Таким образом, потребная удельная энергия $E = JP$ для нового класса распылителей в 10 раз меньше по сравнению с известными классами распылителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression tests using a handheld water mist extinguisher designed for the International space station // 42nd International Conference on Environmental Systems. USA, California : American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012. — P. 115–118. DOI: 10.2514/6.2012-3513.
2. Branelle Rodriguez, Gina Young. Development of the International space station fine water mist portable fire extinguisher // 43rd International Conference on Environmental Systems. — CO, Vail : American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
3. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires // Suppression and Detection Research and Applications Conference. — USA, Orlando, 2007. — P. 217–223.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. II. — 774 с.
5. Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
6. Ольшанский В. П., Ольшанский С. В. К расчету предельной дальности подачи испаряющихся тонкораспыленных огнетушащих веществ установками импульсного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 4. — С. 67–70.
7. Иванов Е. Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. — М. : Химия, 1990. — 384 с.
8. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 53–55.
9. McCarthy M. J., Molloy N. A. Review of stability of liquid jets and the influence of nozzle design // The Chemical Engineering Journal. — 1974. — Vol. 7, No. 1. — P. 1–20. DOI: 10.1016/0300-9467(74)80021-3.
10. Чохонелидзе А. Н., Галустов В. С., Холпанов Л. П., Приходько В. П. Справочник по распыливающим, оросительным и каплеулавливающим устройствам. — М. : Энергоатомиздат, 2002. — 608 с.
11. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М. : Наука, 1973. — 848 с.
12. Пат. 2184619 С1 Российская Федерация. МПК B05B 1/00. Распылитель жидкости (варианты) / Душкин А. Л., Карпышев А. В. — № 2001107433/12; заявл. 22.03.2001; опубл. 10.07.2002.
13. Пат. 2158151 С1 Российская Федерация. МПК A62C 13/00, A62C 31/02, B05B 1/02. Распылитель жидкости и огнетушитель, снабженный распылителем / Душкин А. Л., Карпышев А. В. — № 2000100616/12; заявл. 13.01.2000; опубл. 27.10.2000.
14. Пат. 2111033 С1 Российская Федерация. МПК A62C 31/02. Спринклерный мелкодисперсный ороситель / Долотказин В. И., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н., Смирнов В. Д. — № 97102072/12; заявл. 12.02.1997; опубл. 20.05.1998.
15. Пат. 2264833 С1 Российская Федерация. МПК A62C 13/62, A62C 31/02, B05B 1/34. Распылитель жидкости и огнетушитель / Долотказин В. И., Душкин А. Л., Карпышев А. В. — № 2004126285/12; заявл. 02.09.2004; опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33.

16. Пат. 2284868 С1 Российская Федерация. МПК В05В 1/14 (2006.01). Распылитель жидкости / Душкин А. Л., Карпышев А. В. — № 2005108634/12; заявл. 28.03.2005; опубл. 10.10.2006, Бюл. № 28.
17. ГОСТ Р 51043–2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2003. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 31 с.
18. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2002. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 48 с.
19. 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.

Материал поступил в редакцию 14 декабря 2015 г.

Для цитирования: Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н. Новый класс мелкодисперсных распылителей для подавления возгораний на энергетических объектах под напряжением // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 59–68. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.59-68.

English

NEW CLASS OF ATOMIZED WATER SPRAYERS FOR LIVE EQUIPMENT FIRE SUPPRESSION

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

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

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

ABSTRACT

Atomized water sprayer advantages and fields of their application have been shown. Fine dispersion droplet flow characteristics most vital for firefighting such as averaged flow droplet diameter, spray intensity and flow rate, were determined.

A new class of atomized water sprayers that mainly employ cavitation effects in channels and liquid vortices has been illustrated.

Sprayer prototypes fully complying with atomized water flow dispersion characteristics were designed and tested ($D_{10} < 150 \mu\text{m}$ at pressure more than 0,4 MPa). AFFF-type foam agent additive to water wouldn't distort their hydraulic, electrical, and dispersion features.

Firing tests on model fire site of liquid and solid combustibles demonstrated high fire extinguishing efficiency with a new class of sprayers applied, thus achieving model fire site extinction that wouldn't be suppressed by standard conventional sprayers.

Electrical safety margins have been determined by live equipment spray intensity $J < 0,4 \dots 0,7 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ with a new sprayer class used at 0,4...1,0 MPa delivery pressure.

Keywords: water atomization; fire extinguishing; cavitation; dispersion; electrical safety.

REFERENCES

1. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression tests using a handheld water mist extinguisher designed for the International space station. *42nd International Conference on Environmental Systems*. USA, California, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2012, pp. 115–118. DOI: 10.2514/6.2012-3513.

2. Branelle Rodriguez, Gina Young. Development of the International space station fine water mist portable fire extinguisher. *43rd International Conference on Environmental Systems*. CO, Vail, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2013. DOI: 10.2514/6.2013-3413.
3. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires. *Suppression and Detection Research and Applications Conference*. USA, Orlando, 2007, pp. 217–223.
4. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd. [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part II, 774 p.
5. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspynennoy 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.
6. Olshanskiy V. P., Olshanskiy S. V. K raschetu predelnoy dalnosti podachi ispariyayushchikhsya tonkoraspynennykh ognnetushashchikh veshchestv ustanovkami impulsnogo pozharotusheniya [To a calculation of an extreme distance of the delivery of vaporable finely-sprayed fire extinguishing substances with the impulse fire extinguishing devices]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 4, pp. 67–70.
7. Ivanov Ye. N. *Raschet i proyektirovaniye sistem protivopozharnoy zashchity* [Fire protection systems calculation and design]. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 384 p.
8. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye. Vzaimodeystviye plameni goryuchey zhidkosti s tonkoraspynennoy vodoy [Combustible liquid flame and water mist interaction]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 53–55.
9. McCarthy M. J., Molloy N. A. Review of stability of liquid jets and the influence of nozzle design. *The Chemical Engineering Journal*, 1974, vol. 7, no. 1, pp. 1–20. DOI: 10.1016/0300-9467(74)80021-3.
10. Chokhonelidze A. N., Galustov V. S., Kholpanov L. P., Prikhodko V. P. *Spravochnik po raspylivayushchim, orositelnym i kapleulavlivayushchim ustroystvam* [Reference book on dispersing, spraying, and droplet catching devices]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2002. 608 p.
11. Loytsyanskiy L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 848 p.
12. Dushkin A. L., Karpyshev A. V. *Raspylitel zhidkosti (varianty)* [Liquid sprayer (options)]. Patent RU, no. 2184619, 10.07.2002.
13. Dushkin A. L., Karpyshev A. V. *Raspylitel zhidkosti i ognnetushitel, snabzhennyy raspylitelem* [Liquid sprayer and fire extinguisher fitted with sprayer]. Patent RU, no. 2158151, 27.10.2000.
14. Dolotkazhin V. I., Dushkin A. L., Ryazantsev N. N., Smirnov V. D. *Sprinklernyy melkodispersnyy orositel* [Finely dispersing sprinkler water sprayer]. Patent RU, no. 2111033, 20.05.1998.
15. Dolotkazhin V. I., Dushkin A. L., Karpyshev A. V. *Raspylitel zhidkosti i ognnetushitel* [Liquid sprayer and fire-extinguisher]. Patent RU, no. 2264833, 27.11.2005.
16. Dushkin A. L., Karpyshev A. V. *Raspylitel zhidkosti* [Liquid sprayer]. Patent RU, no. 2284868, 10.10.2006.
17. *State standard of Russian Federation 51043–2002. Automatic water and foam fire fighting systems. Sprinklers, spray nozzles and water mist nozzles. General technical requirements. Test methods*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2002. 31 p. (in Russian).
18. *State standard of Russian Federation 51057–2001. Fire fighting equipment. Portable fire extinguishers. General technical requirements. Test methods*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2002. 48 p. (in Russian).
19. 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 Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 4, pp. 17–23.

For citation: Dushkin A. L., Lovchinskiy S. Ye., Ryazantsev N. N. Novyy klass melkodispersnykh raspyliteley dlya podavleniya vozgoraniy na energeticheskikh ob'yektakh pod napryazheniyem [New class of atomized water sprayers for live equipment fire suppression]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 59–68. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.59-68.

Е. И. ХИЛЬ, адъюнкт кафедры общей и специальной химии, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: gpslab@yandex.ru)

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

УДК 614.84.664

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОГNETУШАЩУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕНЫ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ

Рассматривается тушение пожаров нефти и нефтепродуктов на объектах нефтяной отрасли, в частности тушение пламени нефти и нефтепродуктов пеной, полученной из пенообразователей различной природы. Проведена серия сравнительных испытаний по определению огнетушащей эффективности пены, полученной из различных фторсодержащих пенообразователей. Исследованы пенообразователи как отечественных, так и зарубежных производителей; определена их огнетушащая эффективность. Получены сравнительные данные по критической и оптимальной интенсивностям подачи пены для всех исследованных пенообразователей. Показано, что полученные результаты можно использовать при обеспечении пожарной безопасности на объектах нефтяной отрасли и для более эффективного тушения пожаров на этих объектах. Сделан вывод о наличии минимума на кривых зависимости удельного расхода водных растворов всех исследованных пенообразователей от интенсивности подачи пены, что позволяет определять оптимальную интенсивность подачи пены, необходимую для успешного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: пенообразователь; тушение нефти и нефтепродуктов; оптимальная интенсивность; эффективность тушения; поверхностное натяжение; коэффициент растекания.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.69-74

Для тушения пожаров нефтепродуктов, особенно с температурой вспышки ниже 28 °С, рекомендуется использовать фторсодержащие пенообразователи [1]. Наиболее надежной характеристикой природы фторсодержащих пенообразователей являются изотермы поверхностного и межфазного натяжения водного раствора на границе с углеводородом. Обычно в качестве эталонного нефтепродукта используют гептан нормального строения, поэтому, прежде чем приступить к экспериментальным исследованиям огнетушащей эффективности, проверяют поверхностную активность рабочих водных растворов на границе с гептаном.

Цель данной работы — провести сравнительное испытание огнетушащей эффективности пены, полученной из различных фторсодержащих пенообразователей, и попытаться количественно описать модель процесса тушения.

Экспериментальные измерения огнетушащей эффективности пены при подаче ее в слой углеводорода и методика измерения поверхностного и межфазного натяжения приведены в ГОСТ Р 53280.2–2010.

Авторы при проведении экспериментов использовали другую методику, отличительной особенно-

стью которой является исследование процесса тушения пламени жидкости в широком диапазоне интенсивностей подачи пены, а при измерении поверхностного и межфазного натяжений — в широком диапазоне концентраций пенообразователей. Это позволило выявить область концентраций, в которой водные растворы способны самопроизвольно растекаться по поверхности углеводорода, и определить оптимальную интенсивность подачи пены при тушении пламени горючей жидкости. В качестве горючей жидкости использовали индивидуальный предельный углеводород — *n*-гептан.

Экспериментальные исследования начинали с измерений поверхностного и межфазного натяжения и расчета на их основе коэффициента растекания водного раствора по гептану. Для расчета использовали известное соотношение [2, 3]:

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

где K_{10} — коэффициент растекания раствора по углеводороду;

$\sigma_0, \sigma_1, \sigma_{10}$ — поверхностное натяжение соответственно горючей жидкости, водного раствора и на границе раствора с углеводородом.

Для приготовления водных растворов использовали пенообразователи “Light Water FC-201”, “Shtamex AFFF”, “Chemgard AFFF C-133”, “Ultraguard AR-AFFF”, “Шторм Ф” и “Подслойный”.

Вначале для выбора концентрации, при которой коэффициент растекания становится больше нуля, строили изотермы поверхностного и межфазного натяжений, а затем проводили эксперименты по тушению пламени подачей пены с различной интенсивностью.

В качестве примера на рис. 1 и 2 представлены результаты исследований водных растворов и пены на основе пенообразователя “Light Water FC-201”. Этот пенообразователь является образцом среди фторсодержащих составов. Судя по результатам измерений, растворы пенообразователя, начиная с концентрации 1,0 %, приобретают положительный коэффициент растекания и способность к самопроизвольному растеканию по поверхности гептана. По экспериментальным результатам, представленным в виде кривых зависимости удельного расхода и времени тушения от интенсивности подачи пены, определены критическая ($J_{кр}$) и оптимальная ($J_{опт}$) интенсивности, а также минимальный удельный расход раствора пенообразователя при тушении пламени гептана.

Результаты тушения пламени гептана пеной низкой кратности, полученной из растворов пенообразователей “Light Water FC-201”, “Shtamex AFFF”, “Chemgard AFFF C-133” и “Ultraguard AR-AFFF”, представлены на рис. 3. Использовали пену кратностью $7,0 \pm 0,5$.

Результаты испытаний огнетушащей эффективности различных пленкообразующих пенообразователей показали (см. таблицу), что критическая ин-

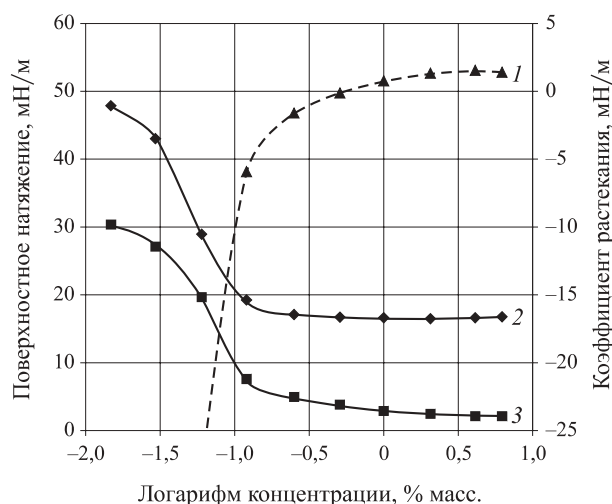


Рис. 1. Зависимость коэффициента растекания раствора пенообразователя по гептану (1), поверхностного (2) и межфазного (3) натяжения раствора на границе с гептаном от концентрации раствора пенообразователя “Light Water FC-201”

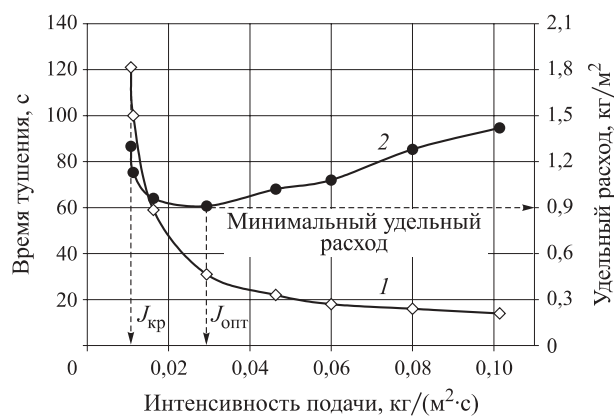


Рис. 2. Зависимость времени тушения пламени гептана (1) и удельного расхода пенообразователя “Light Water FC-201” (2) от интенсивности подачи пены

тенсивность подачи пены на их основе примерно одинакова, а значения минимального удельного расхода пенообразователей существенно различаются. Наиболее эффективным оказался пенообразователь “Light Water FC-201” с минимальным удельным расходом $0,95 \text{ кг/м}^2$, затем “Shtamex AFFF” — $1,2 \text{ кг/м}^2$, далее “Ansulite” — $1,5 \text{ кг/м}^2$ и, наконец, “Подслойный” — $2,5 \text{ кг/м}^2$.

Оптимальная интенсивность подачи пены снизилась с $0,05 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ для пенообразователя “Подслойный” до $0,03 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ для пенообразователя “Light Water FC-201”. Необходимо отметить, что наклон

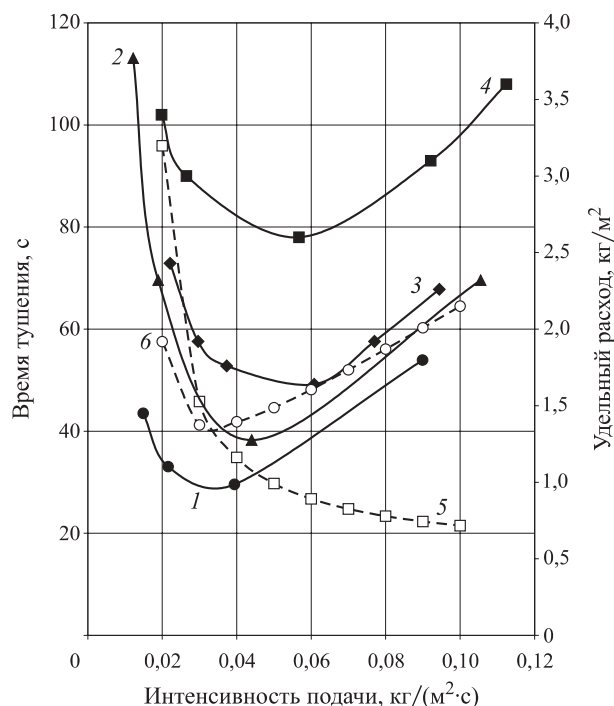


Рис. 3. Зависимость времени тушения гептана на основе пенообразователей “Light Water FC-201” (1), “Shtamex AFFF” (2), “Ansulite” (3) и “Подслойный” (4), полученного экспериментально и расчетом по формуле (4) (5), а также удельного расхода пенообразователя, рассчитанного по формуле (5) (6), от интенсивности подачи пены

Сводная таблица результатов тушения пламени гептана пеной на основе пенообразователей "Light Water FC-201", "Shtamex AFFF", "Ansulite" и "Подслойный"

Пенообразователь	Интенсивность подачи, кг/(м ² ·с)		Минимальный удельный расход, кг/м ²	Соотношение $J_{\text{опт}}/J_{\text{кр}}$
	критическая	оптимальная		
Light Water FC-201	0,015	0,03	0,95	2,3
Shtamex AFFF	0,02	0,045	1,2	2,3
Ansulite	0,02	0,05	1,5	2,5
Подслойный	0,02	0,055	2,5	2,7

восходящих ветвей кривых удельного расхода приблизительно одинаков. На основании анализа результатов экспериментальных исследований получены сравнительные данные по минимальному удельному расходу, критической и оптимальной интенсивностям подачи пены.

Анализ материального баланса пены, поданной в резервуар на тушение пламени, позволяет получить расчетную формулу для определения времени тушения и удельного расхода пенообразователя [4–9]:

$$\tau_T = -\frac{\rho_f h_s}{2U_0} \left[1 + \left(\frac{J}{U_0} \right)^m \right] \ln \left(1 - \frac{U_0}{J} \right), \quad (2)$$

где ρ_f — плотность пены, кг/м³;

h_s — минимальная толщина слоя пены, определяемая величиной сдвигового напряжения, м;

U_0 — удельная скорость термического разрушения пены, кг/(м²·с);

J — интенсивность подачи пены, кг/(м²·с);

m — показатель степени, учитывающий характер нарастания толщины слоя пены в зависимости от интенсивности ее подачи.

Выражение для расчета удельной скорости термического разрушения пены и, соответственно, критической интенсивности подачи имеет вид:

$$U_0 = U_{\Gamma} q_{\Gamma} / (z q_{\text{в}}), \quad (3)$$

где U_{Γ} — удельная скорость испарения, кг/(м²·с);

q_{Γ} — удельная теплота испарения углеводорода, кДж/кг;

z — коэффициент, учитывающий форму пузырьков пены, кг/м²;

$q_{\text{в}}$ — удельная теплота испарения воды, кДж/кг.

Из формулы (2) следует, что время тушения $\tau_T \rightarrow \infty$. При $J = U_0 \equiv J_{\text{кр}}$ в формуле (2) заменим U_0 на $J_{\text{кр}}$ и преобразуем ее к виду:

$$\tau_T = -\frac{\rho_f h_s}{J_{\text{кр}}} \left[1 + \left(\frac{J}{J_{\text{кр}}} \right)^m \right] \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (4)$$

Соответственно, для расчета удельного расхода пены ($Q (Q = J\tau_T)$) получена формула

$$Q = -J \frac{\rho_f h_s}{J_{\text{кр}}} \left[1 + \left(\frac{J}{J_{\text{кр}}} \right)^m \right] \ln \left(1 - \frac{J_{\text{кр}}}{J} \right). \quad (5)$$

На рис. 4 приведены результаты расчета времени тушения и удельного расхода пенообразователя по формулам соответственно (4) и (5) при фиксированной критической интенсивности подачи пены. Как следует из рис. 3, форма кривых удельного расхода определяется темпом изменения толщины слоя пены в месте ее падения по мере роста интенсивности ее подачи. Модель тушения пламени пеной изменяли, задавая эту зависимость от линейной (показатель степени 1,0) до кубического корня (показатель степени 0,3). По мере снижения величины показателя степени характер кривых зависимости удельного расхода от интенсивности подачи пены постепенно изменялся. Одновременно смещалось положение минимума, наличие которого указывает на оптимальную интенсивность подачи пены.

Сопоставление результатов исследований с существующей теорией, описывающей процесс тушения пеной, показало удовлетворительное совпадение с выводами работ [10–14], в которых соотношение

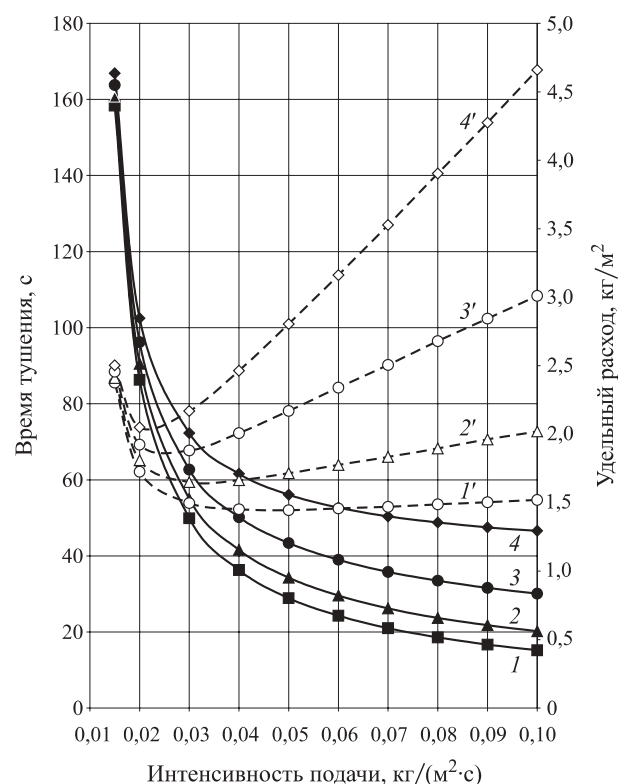


Рис. 4. Зависимость времени тушения (I–4) и удельного расхода пенообразователя (I'–4') от интенсивности подачи пены при переменном показателе степени: 1, 1' — $m = 0,3$; 2, 2' — $m = 0,5$; 3, 3' — $m = 0,75$; 4, 4' — $m = 1,0$

между оптимальной и критической интенсивностями описывается формулой

$$J_{\text{опт}} = 2,5J_{\text{кр}} \quad (6)$$

Сопоставление результатов эксперимента с модельными представлениями о процессе тушения пламени пеной подтвердило предположение о том, что толщина пенного слоя линейно связана с интенсивностью подачи пены. Из экспериментов выявлено соотношение между оптимальной и критической

интенсивностями, которое оказалось близким к теоретическому значению, равному 2,5, и колеблется от 2,2 до 2,7.

Основной вывод, который был сделан из проведенных экспериментов для всех исследованных пенообразователей, — это наличие минимума на кривых зависимости удельного расхода водного раствора пенообразователя от интенсивности подачи пены, что позволяет определять оптимальную интенсивность подачи пены при тушении пламени нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н.* Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23. № 4. — С. 72–76.
2. *Шароварников А. Ф., Пунчик Г. И.* Экспериментальное определение прочности высокократных пен // *Коллоидный журнал*. — 1982. — Т. 44, № 1. — С. 98–101.
3. *Bikerman J. J.* Foams. — New York : Springer, 1973. DOI: 10.1007/978-3-642-86734-7.
4. *Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A.* Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // *Applied Mechanics and Materials*. — 2013. — Vol. 475-476. — P. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
5. *Дегаев Е. Н., Корольченко Д. А.* Зависимость огнетушащей эффективности пенообразователей для тушения пожаров от структуры коэффициента растекания рабочего раствора по углеводороду // *Международная научно-техническая конференция “Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении”*: сб. науч. тр. — Курск : Юго-Западный государственный университет, 2015. — С. 53–56.
6. *Дегаев Е. Н., Корольченко Д. А.* Нормирование кратности пены при испытании пенообразователей по ГОСТ Р 53280.2–2010 // *1-я Международная научно-техническая конференция “Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы — перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов”*: сб. науч. тр. — Курск : Юго-Западный государственный университет, 2015. — С. 52–55.
7. *Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.* Тушение горючих жидкостей распыленной водой // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.
8. *Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.* Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 69–74.
9. *Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф.* Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.
10. *Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О.* Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // *Вестник МГСУ*. — 2011. — № 1–2. — С. 331–335.
11. *Блинов В. И., Худяков Г. Н.* Диффузионное горение жидкостей. — М. : АН СССР, 1961. — 208 с.
12. *Петров И. И., Реутт В. Ч.* Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Изд. МХ РСФСР, 1961. — 143 с.
13. *Rasbash D. J.* The extinction of fire with plain water: a review // *Fire Safety Science*. — 1986. — Vol. 1. — P. 1145–1163. DOI: 10.3801/iafss.fss.1-1145.
14. *Горшков В. И.* Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 267 с.

Материал поступил в редакцию 9 ноября 2015 г.

Для цитирования: *Хиль Е. И., Шароварников А. Ф.* Влияние природы пенообразователей на огнетушащую эффективность пены низкой кратности // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2016. — Т. 25, № 1. — С. 69–74. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.69-74.

INFLUENCE OF THE FOAMERS NATURE ON FIRE EXTINGUISHING EFFECTIVENESS OF FOAM OF LOW FREQUENCY RATE

KHIL E. I., Postgraduate Student of General and Special Chemistry
Department, State Fire Academy of Emercom of Russia
(Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129336, Russian Federation;
e-mail address: gpslab@yandex.ru)

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

ABSTRACT

The article gives a review of extinguishing fires of oil and oil products at oil production facilities, in particular extinguishing flames of oil and oil products with fire extinguishing foam, produced from foam forming agents of various nature. The objective of this work was to conduct a series of comparative tests to determine fire extinguishing efficiency of foam, produced from various fluorine containing foam forming agents. As a result, there were studied foam forming agents of both domestic and foreign manufacturers as well as fire extinguishing efficiency of those foam forming agents was identified. Based on the results of the experimental studies comparative data regarding critical and optimal intensity of foam supply for all foam forming agents under the study was obtained. The data obtained can be used to provide fire protection at oil production facilities and for more efficient fire extinguishing at those facilities. Main conclusion from the tests conducted is availability of minimum specific flow of foam forming agent aqueous solution based on the intensity of foam supply for all foam forming agents under study which allows to identify optimal intensity of foam supply, necessary for successful fire extinguishing of oil and oil products.

Keywords: foam forming agent; fire extinguishing of oil and oil products; optimal intensity; efficiency of extinguishing; surface tension; spreading coefficient.

REFERENCES

1. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Laboratornaya metodika opredeleniya izoliruyushchikh svoystv peny na poverkhnosti heptana [Laboratory standard technique for insulating properties of foam on heptane surface]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 4, pp. 72–76.
2. Sharovarnikov A. F., Punchik G. I. Eksperimentalnoye opredeleniye prochnosti vysokokratnykh pen [Experimental determination of the strength of foams with a high foam-to-liquid volume ratio]. *Kolloidnyy zhurnal — Colloid Journal*, 1982, vol. 44, no. 1, pp. 98–101.
3. Bikerman J. J. *Foams*. New York, Springer, 1973. DOI: 10.1007/978-3-642-86734-7.
4. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 475-476, pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
5. Degaev E. N., Korolchenko D. A. Zavisimost ognetushashchey effektivnosti penoobrazovately dlya tusheniya pozharov ot struktury koeffitsienta rastekaniya rabocheho rastvora po uglevodorodu [Dependence of fire extinguishing effectiveness of foamers for suppression of the fires from structure of a spreading coefficient of working solution on hydrocarbon]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya “Bezopasnost i proyektirovaniye konstruksiy v mashinostroyeni”*: sb. nauch. tr. [International Scientific and Technical Conference “Safety and projection of designs in mechanical engineering”. Collected scientific papers]. Kursk, Southwest State University Publ., 2015, pp. 53–56.
6. Degaev E. N., Korolchenko D. A. Normirovaniye kratnosti peny pri ispytanii penoobrazovately po GOST R 53280.2–2010 [Rationing of frequency rate of foam at test of foamers in accordance with GOST R 53280.2–2010]. *1-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya “Metalloobrabatvyvayushchiye komplekсы i robototekhnicheskiye sistemy — perspektivnyye napravleniya nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti molodykh uchenykh i spetsialistov”*: sb. nauch. tr. [1st International Scientific and Technical Conference “Metalworking complexes and robotic systems — the perspective directions of research activity of young scientists and experts”. Collected scientific papers]. Kursk, Southwest State University Publ., 2015, pp. 52–55.

7. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspylennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
8. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Vliyaniye dispersnosti kapel vody na effektivnost tusheniya pozharov goryuchey zhidkosti [Impact of dispersion of water drops on the efficiency of fire extinguishing of combustible liquid]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 69–74.
9. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognetushashchimi veshchestvami [Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 13, pp. 84–88.
10. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2011, no. 1-2, pp. 331–335.
11. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
12. Petrov I. I., Reutt V. Ch. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Suppression of combustible liquids flame]. Moscow, Ministry of Utilities Sector Publ., 1961. 143 p.
13. Rasbash D. J. The extinction of fire with plain water: a review. *Fire Safety Science*, 1986, vol. 1, pp. 1145–1163. DOI: 10.3801/iafss.fss.1-1145.
14. Gorshkov V. I. *Tusheniye plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing of combustible liquids' flame]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 267 p.

For citation: Khil E. I., Sharovarnikov A. F. Vliyaniye prirody penoobrazovateley na ognetushashchuyu effektivnost peny nizkoy kratnosti [Influence of the foamers nature on fire extinguishing effectiveness of foam of low frequency rate]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 69–74. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.69-74.



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

УДК 614.83;614.84;614.85;614.88

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЕЖУРНО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ

© **А. А. ТАРАНЦЕВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы РФ, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); заведующий лабораторией Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия ВО, 13; e-mail: t_54@mail.ru)

© **А. Д. ИЩЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, начальник Учебно-научного комплекса Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: aldiko@mail.ru)

© **Д. А. МАЛЫШЕВ**, заместитель начальника — старший оперативный дежурный ФКУ “Центр управления в кризисных ситуациях главного управления МЧС России по Республике Коми” (Россия, 167983, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Советская, 9); адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: malyshevdeonis@yandex.ru)

Приведен анализ функционирования традиционной системы экстренного реагирования с прямой связью абонентов со службами “01”, “02”, “03” и “04” и двухуровневой — с опосредованной связью через диспетчеров call-центра. Дано описание обеих систем с использованием математического аппарата теории массового обслуживания. Представлена номограмма для решения задачи синтеза — определения числа диспетчеров и линий связи. Приведенный подход проиллюстрирован на расчетном примере.

Ключевые слова: экстренные службы; call-центр; абонент; диспетчер; чрезвычайная ситуация; пожар.

Введение

Право на жизнь гражданина, достоинство личности, охрану здоровья и благоприятную среду закреплено в ст. 20, 21, 41 и 42 Конституции РФ [1]. В связи с этим в РФ еще во времена СССР были созданы службы экстренного реагирования — “01”, “02”, “03” и “04”. Как обратиться в эти службы, гражданам разъяснялось с детских лет: при пожаре звонить по “01”, при правонарушениях — “02”, при проблемах со здоровьем — “03”, при запахе газа — “04”. При этом предусматривалось и взаимодействие между диспетчерами этих служб. Такие службы (рис. 1) успешно функционировали в РФ до начала XXI века, а в некоторых населенных пунктах продолжают действовать до сих пор.

В то же время за рубежом сложилась несколько иная система приема сообщений от граждан. Там были созданы call-центры (например, в США единый номер “911”, в Европе — “112”), куда люди звонят со своими проблемами, а диспетчеры call-центров, уяснив суть дела, соединяют их с соответствующими экстренными службами.

В конце 90-х годов XX века — в начале XXI века и в РФ стала внедряться подобная система приема и обслуживания экстренных вызовов (рис. 2). Сначала на базе двузначного номера “01”, по которому передавались сообщения в Центр управления силами и

средствами (ЦУСС) пожарной охраны, были созданы единые дежурно-диспетчерские службы (ЕДДС) [2], а затем — центры управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) [3].

Представляется целесообразным для двухуровневой схемы с опосредованной связью абонентов с экстренными службами через call-центр* (см. рис. 2) оценить необходимое число диспетчеров и линий связи (ЛС) как для call-центра, так и для экстренных служб. Основным условием нормального функционирования такой системы, как и традиционной (см. рис. 1), является не превышение предельного значения вероятности отказа в обслуживании вызова, равного 0,1 % [4].

На практике, конечно, при двухуровневой схеме порядок взаимодействия должностных лиц между собой и с абонентами несколько сложнее:

- в call-центр могут поступать сообщения, не требующие экстренного реагирования, но на их обработку (выслушивание абонента и принятие решения) диспетчер тоже тратит некоторое время;
- диспетчеры экстренных служб могут (и должны) при необходимости взаимодействовать между собой;

* Например, так функционирует служба экстренного реагирования в Республике Коми.

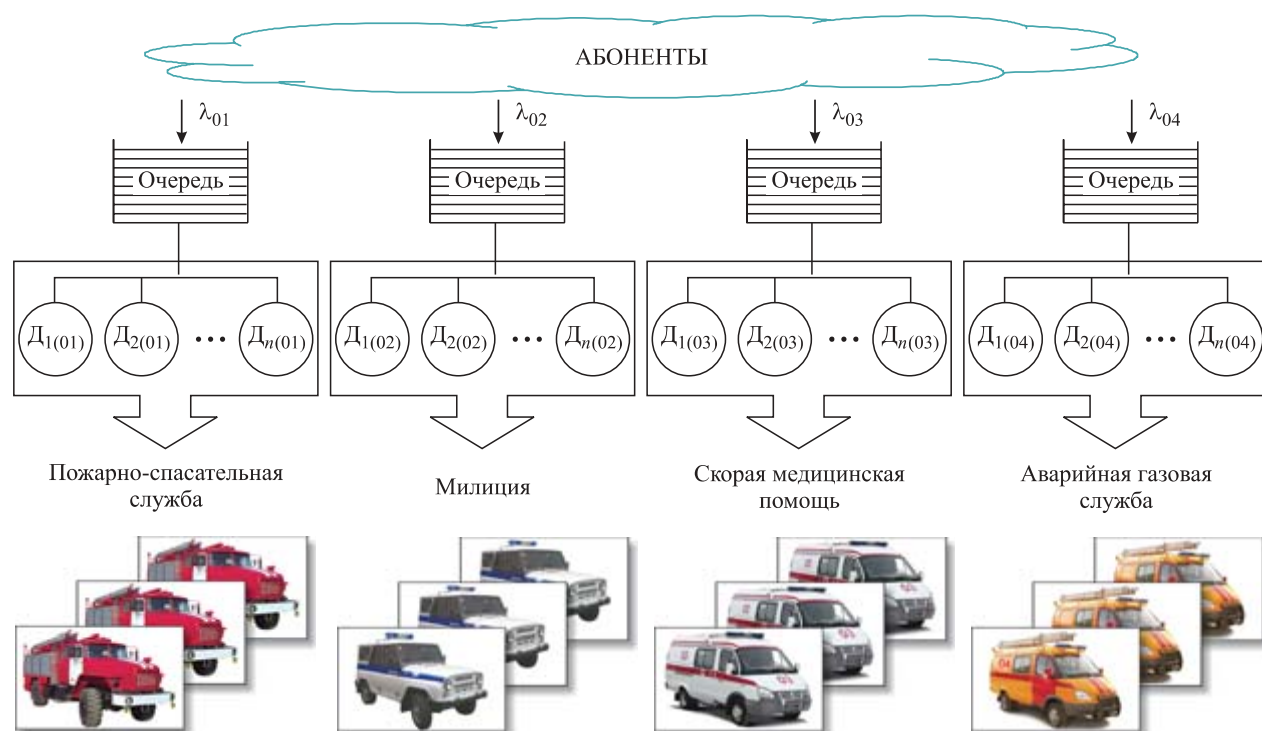


Рис. 1. "Традиционная" схема взаимодействия абонентов с диспетчерами (Д) экстренных служб

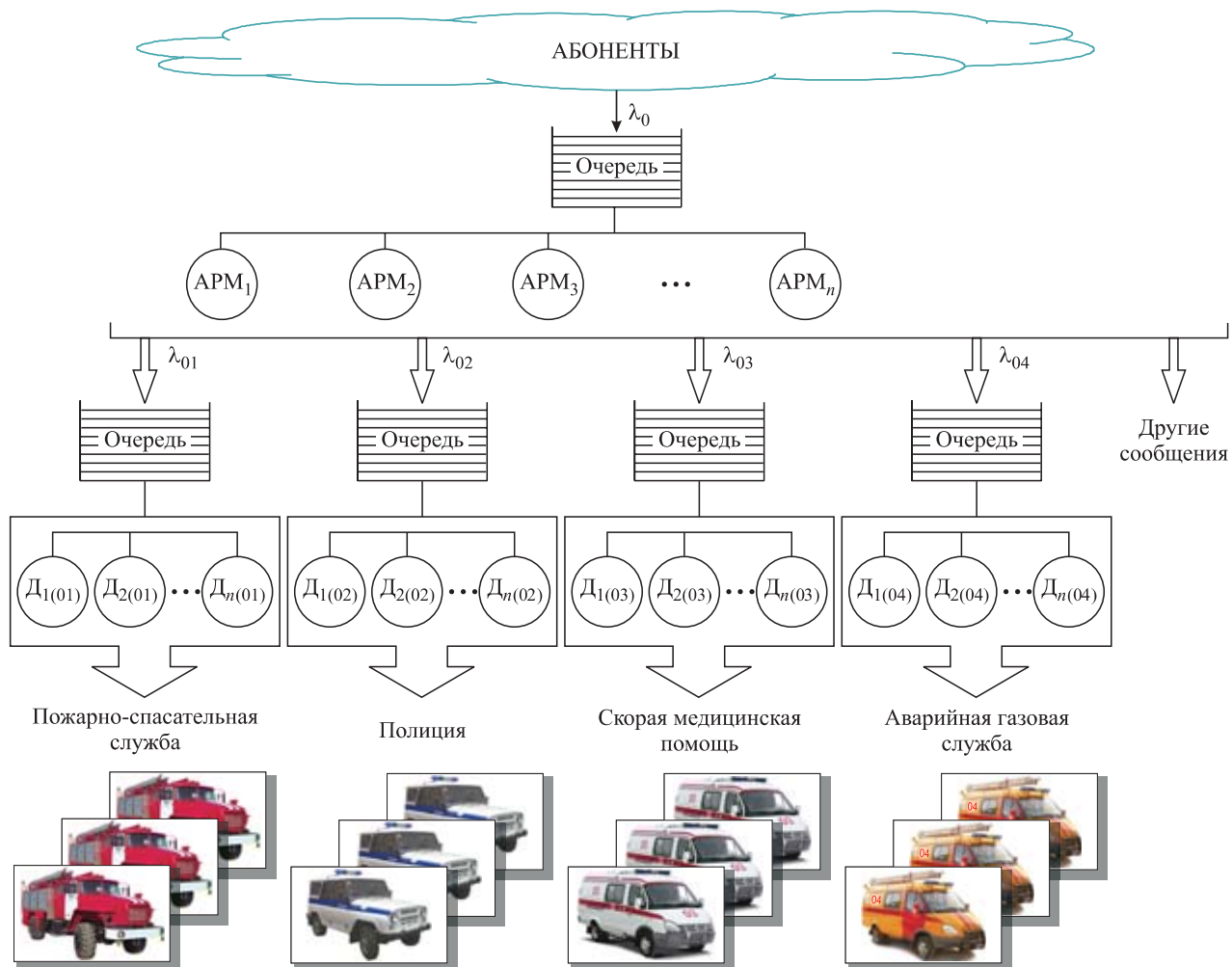


Рис. 2. Двухуровневая схема взаимодействия абонентов с экстренными службами

- при тушении пожара руководитель тушения пожара (РТП), начальник штаба и начальник тыла [5] могут обращаться в ЦППС/ЦУКС с запросами о высылке дополнительных сил и средств, передавать необходимую информацию и т. п.

Экстренная служба и ее элементы как система массового обслуживания

Деятельность структур “абоненты – диспетчеры call-центра” и “диспетчеры call-центра – диспетчеры экстренных служб” может быть описана с помощью математического аппарата теории массового обслуживания [6, 7]. Это позволит решить такую важную задачу, как рациональный выбор количества диспетчеров и ЛС, что, с одной стороны, обеспечит требуемое качество приема и обработки сообщений, а с другой — не приведет к неоправданному увеличению штата системы экстренного реагирования [3, 8] и затрат на его содержание.

Указанные структуры экстренной службы могут быть представлены в виде n -канальных систем массового обслуживания (СМО) с m -местной очередью (рис. 3).

Каналами обслуживания (КО) при этом являются диспетчеры call-центра или экстренных служб, а m -местной очередью/накопителем — число ЛС, на которых могут удерживаться абоненты/заявки, когда заняты все n КО. При стандартных допущениях [6, 7] зависимость между характеристиками (вероятность отказа в приеме заявки ввиду переполненности очереди $p_{отк}$, вероятность немедленного принятия заявки в КО p_n , нагрузка на КО ρ и среднее время ожидания заявки в очереди $t_{ож}$) и параметрами СМО (число КО n , число ЛС L и среднее время обслуживания заявки $t_{об}$) может быть описана выражениями:

$$p_{отк} = p_0 \frac{\alpha^n \rho^m}{n!}; \quad (1)$$

$$p_n = p_0 \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\alpha^i}{i!}; \quad (2)$$

$$t_{ож} = p_0 \frac{\alpha^n \rho [1 - (m+1)\rho^m + m\rho^{n+1}]}{\lambda n!(1-\rho)^2}; \quad (3)$$

$$\rho = \alpha/n, \quad (4)$$

где p_0 — вероятность незанятости всех n КО;
 α — приведенная нагрузка; $\alpha = \lambda t_{об} \neq n$;
 λ — частота поступления заявок;
 $m = L - n \geq 0$.

Вероятность p_0 может быть определена из выражения

$$p_0 = \left[\sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!} + \frac{\alpha^n \rho (1 - \rho^m)}{n!(1-\rho)} \right]^{-1}. \quad (5)$$

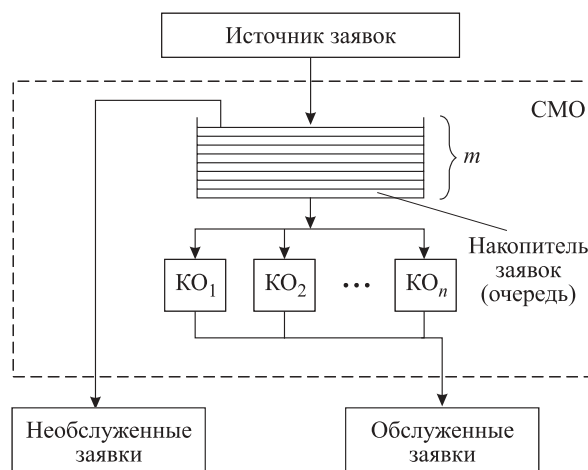


Рис. 3. Схема n -канальной СМО с m -местной очередью

Выражения (1)–(5) [7–9] могут использоваться для решения задач анализа и синтеза СМО (рис. 4). В первом случае по известным параметрам n и L , а также частоте поступления заявок λ определяют характеристики СМО $\{p_{отк}, p_n, \rho, t_{ож}\}$ (см. рис. 4, а), сравнивают их с допустимыми значениями [4, 10] и делают вывод о том, насколько СМО эффективна.

Задача синтеза заключается в том, чтобы по допустимым значениям характеристик СМО $\{p_{отк}, p_n, \rho, t_{ож}\}$ (согласно [4] $p_{отк} < 0,1\%$; согласно [10] $t_{ож} < 10$ с; $\rho < 0,3$; $p_n > 0,9$ или $0,95$) и известным частоте поступления заявок λ и среднему времени $t_{об}$ определить необходимые значения n и L (см. рис. 4, б).

Задачу синтеза целесообразно решать с использованием номограмм. Первый вариант номограммы был опубликован в работе [11], другой — в [8] и [12], а в работах [9, 13] представлен наиболее совершенный вид номограммы (рис. 5) для стандартной многоканальной СМО. В этой номограмме в качестве горизонтальной оси использована преобразованная

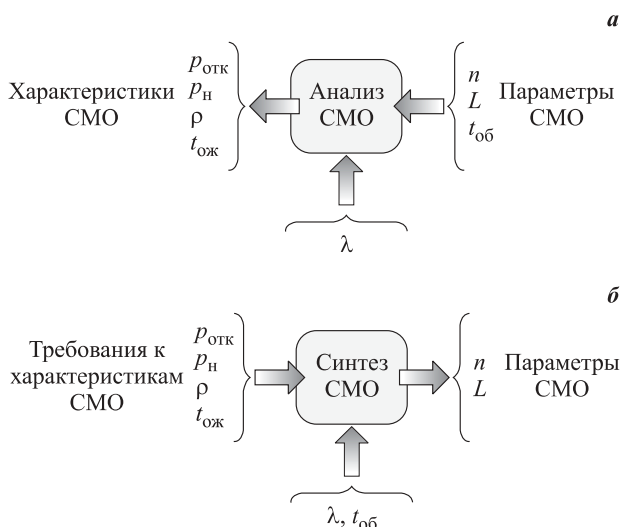


Рис. 4. Схема решения задач анализа (а) и синтеза (б) СМО

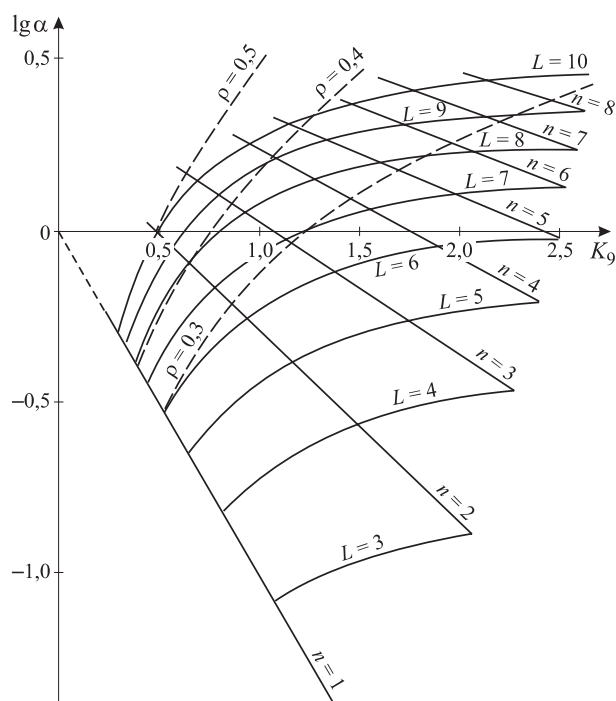


Рис. 5. Номограмма для определения числа диспетчеров n и ЛС L при $p_{отк} = 0,05 \%$

величина вероятности немедленного принятия заявки

$$K_9 = \lg \frac{1}{1 - p_n}, \quad (6)$$

которую можно трактовать как “количество девяток после запятой”. Например, если $p_n = 0,9$, то $K_9 = 1$, если $p_n = 0,95$, то $K_9 = 1,3$, а если $p_n = 0,99$, то $K_9 = 2$.

Далее представляется целесообразным определить общее число диспетчеров и ЛС в дежурных сменах экстренных служб для двухуровневой системы (см. рис. 2). Решение такой задачи для традиционной системы (см. рис. 1) дано в работах [8, 9].

Задача синтеза двухуровневой схемы обслуживания заявок

В случае двухуровневой схемы (см. рис. 2) вероятность отказа в приеме заявки в экстренную службу $p_{отк i}$ может быть оценена с учетом вероятностей отказа в приеме заявки в call-центре и в экстренных службах $p_{ц}$ и вероятности потери заявки при переадресации из call-центра в экстренную службу p_n . Тогда вероятности отказа в приеме заявки по линии служб “01”, “02”, “03” и “04” соответственно p_{01} , p_{02} , p_{03} и p_{04} можно записать в виде:

$$p_{отк i} = 1 - (1 - p_{ц})(1 - p_n)(1 - p_{0i}), \quad i \in [1, 4]. \quad (7)$$

Если даже предположить, что переадресация достаточно надежна (т. е. $p_n \rightarrow 0$), а на вероятности $\{p_{отк i}\}$ наложены ограничения не более 0,1 % [4], то должны выполняться условия: $p_{ц} < 0,05 \%$ и

Результаты проверочных расчетов

Служба	$p_{отк}, \%$	p_n	$\lambda t_{ож}$	ρ
Call-центр	0,039	0,998	$3,86 \cdot 10^{-4}$	0,1825
01	0,020	0,998	$1,97 \cdot 10^{-4}$	0,1250
02	0,044	0,997	$4,45 \cdot 10^{-4}$	0,1500
03	0,024	0,980	$6,46 \cdot 10^{-3}$	0,2500
04	0,002	0,975	$6,40 \cdot 10^{-4}$	0,0250

$\{p_{0i}\} < 0,05 \%$. Для того чтобы решить задачу синтеза двухуровневой схемы (см. рис. 2) и найти число диспетчеров $n_{ц}$ и ЛС $L_{ц}$ в call-центре, а также величины $\{n_{0i}\}$, $\{L_{0i}\}$, разработана специальная номограмма (см. рис. 5) с учетом условия $p_{отк} < 0,05 \%$. Решение задачи синтеза двухуровневой схемы обслуживания заявок позволит найти суммарное число диспетчеров $n_{ду}$ и ЛС $L_{ду}$:

$$n_{ду} = n_{ц} + n_{01} + n_{02} + n_{03} + n_{04}; \quad (8)$$

$$L_{ду} = L_{ц} + L_{01} + L_{02} + L_{03} + L_{04}. \quad (9)$$

Решение задачи синтеза двухуровневой схемы (см. рис. 2) целесообразно показать на примере. Предположим, что приведенная нагрузка на call-центр $\alpha_{ц} = 0,9125$ ($\lg \alpha_{ц} = -0,04$), вероятность немедленного ответа его диспетчера абоненту $p_{нц} > 0,995$. Для различных экстренных служб к вероятности немедленного принятия заявки p_n могут предъявляться различные требования. Например, для служб “01” и “02” $p_n > 0,99$, для службы “03” — $p_n > 0,95$, для службы “04” — $p_n > 0,9$. Согласно [10] $\rho < 0,3$. Предположим, что имеют место следующие нагрузки на диспетчерские пункты экстренных служб: $\alpha_{01} = 0,5$ ($\lg \alpha_{01} = -0,3$), $\alpha_{02} = 0,6$ ($\lg \alpha_{02} = -0,22$), $\alpha_{03} = 1$ ($\lg \alpha_{03} = 0$), $\alpha_{04} = 0,025$ ($\lg \alpha_{04} = -1,6$).

При решении задачи синтеза в координатах ($\lg \alpha$, K_9) определяются исходные рабочие точки $A_{ц}$, A_{01} , A_{02} , A_{03} , A_{04} и рабочие области (рис. 6, выделены штриховкой), а затем — действительные рабочие точки $B_{ц}$, B_{01} , B_{02} , B_{03} , B_{04} . В результате получаем: $n_{ц} = 5$, $L_{ц} = 6$, $n_{01} = 4$, $L_{01} = 5$, $n_{02} = 4$, $L_{02} = 5$, $n_{03} = 4$, $L_{03} = 7$ (см. рис. 6). Аналогично для службы “04” — $n_{04} = 1$, $L_{04} = 3$.

По выражениям (1)–(5) можно провести проверку и убедиться в правильности найденных значений числа диспетчеров и ЛС (см. таблицу). Полученные данные свидетельствуют о правильности решения задачи синтеза с использованием номограммы рис. 5. Окончательно по выражениям (8) и (9) находим: $n_{ду} = 18$, $L_{ду} = 26$.

Выводы

Таким образом, показана возможность решения задач анализа и синтеза современной двухуровне-

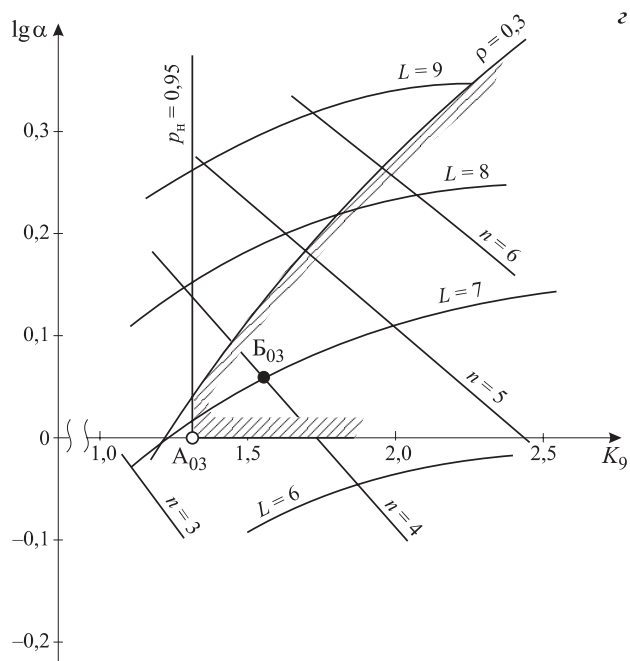
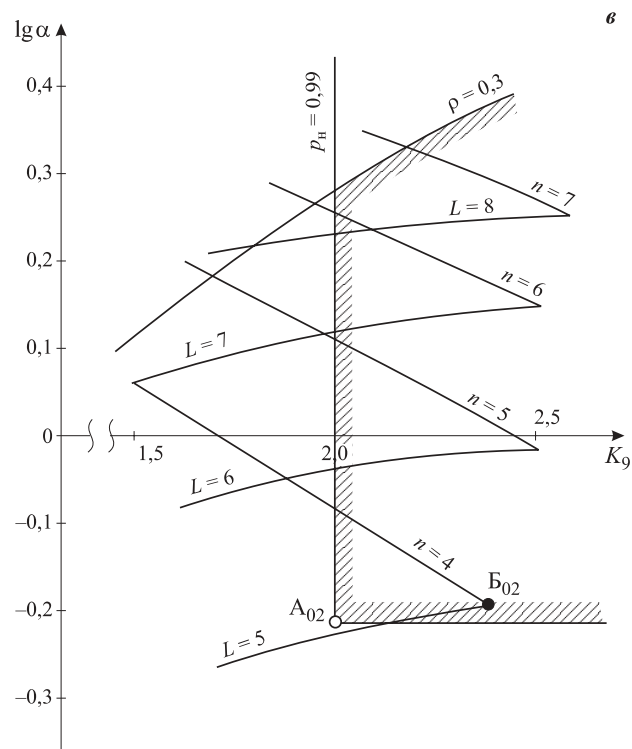
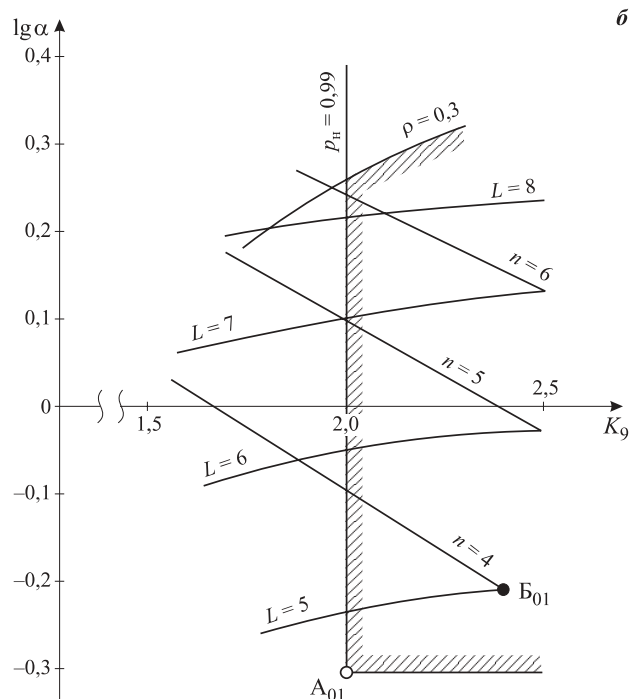
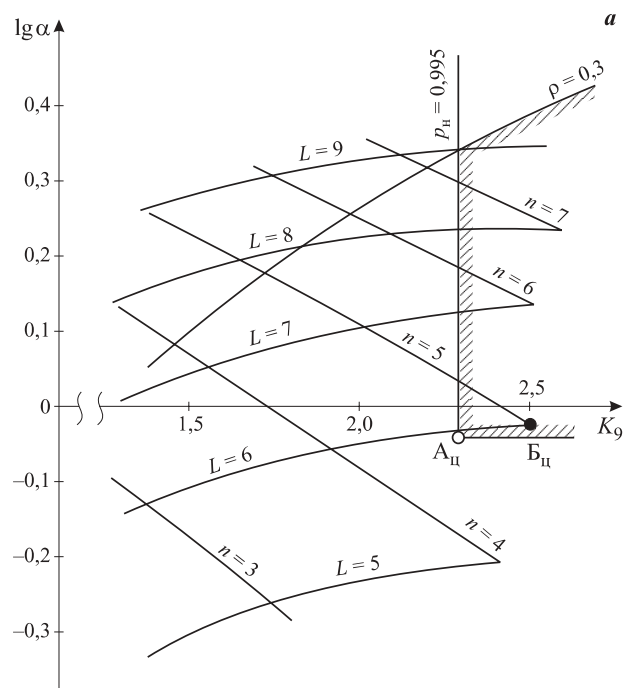


Рис. 6. Нахождение необходимого числа диспетчеров n и линий связи L (при $p_{\text{отк}} \leq 0,05\%$) для двухуровневой схемы: а — call-центр; б — служба “01”; в — служба “02”; г — служба “03”

вой схемы (1-й уровень — call-центр, 2-й — диспетчерские службы “01”, “02”, “03”, “04”) приема и обработки сообщений о пожарах, правонарушениях, проблемах со здоровьем и утечках газа. В случае решения задач синтеза целесообразно использовать специальные номограммы, построенные с помощью математического аппарата теории массового обслу-

живания, с последующей проверкой по известным математическим выражениям.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть задачу синтеза трехуровневой схемы “call-центр — ЦУКС — диспетчеры” с учетом как ограниченной надежности ЛС и готовности диспетчеров, так и “нетерпеливости” абонентов [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конституция Российской Федерации (принята 12.12.1993) (с попр. от 30.12.2008, 05.02.2014, 21.07.2014) // Российская газета. — 25.12.1993. — № 237; 21.01.2009. — № 7. URL: http://base.garant.ru/10103000/1/#block_5555 (дата обращения: 10.12.2015).
2. ГОСТ Р 22.7.01–99. Безопасность в ЧС. Единая дежурно-диспетчерская служба. Основные положения. — Введ. 01.01.2000. — М. : Изд-во стандартов, 1999.
3. О некоторых вопросах Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : Указ Президента РФ от 15.02.2011 № 195 // Собрание законодательства Российской Федерации. — № 8 (21.02.2011), ст. 1085.
4. РД 45.120–2000 (НТП 112–2000). Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. — Введ. 26.10.2000. — М. : ЦНТИ “Информсвязь”, 2000.
5. Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы (вместе с “Боевым уставом пожарной охраны”) : приказ МВД РФ от 05.07.1995 № 257 (ред. от 06.05.2000). URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.12.2015).
6. *Вентцель Е. С.* Исследование операций. — М. : Сов. радио, 1972. — 552 с.
7. *Таранцев А. А.* Инженерные методы теории массового обслуживания : монография. — 2-е изд. перераб. и доп. — СПб. : Наука, 2007. — 176 с.
8. *Таранцев А. А.* Методика определения числа диспетчеров и линий связи дежурно-диспетчерских служб // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 69–85.
9. *Таранцев А. А., Малышев Д. А.* О возможности совершенствования ГОСТ Р 22.7.01–99 “Единая дежурно-диспетчерская служба” // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 11. — С. 77–81.
10. *Шаровар Ф. И.* Автоматизированные системы управления и связь в пожарной охране : учеб. пособие. — М. : ВПИТШ МВД СССР, 1987. — 302 с.
11. *Таранцев А. А.* О способе выбора параметров СМО с очередью // Известия РАН. Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 7. — С. 172–176.
12. *Артамонов В. С., Погорельская К. В., Таранцев А. А.* Методика определения рационального числа операторов и линий связи Центра управления силами Федеральной противопожарной службы // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6 — С. 4–9.
13. *Малышев Д. А., Нодь А. П., Таранцев А. А.* Номограммы для задач синтеза систем массового обслуживания сообщений // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2015. — № 2(34) — С. 21–25.
14. *Малышев Д. А., Таранцев А. А.* Моделирование работы диспетчерского пункта как систем массового обслуживания с “нетерпеливыми” заявками // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2014. — № 4 — С. 73–77.

**ВОПРОС:**

При выборе взрывозащищенного электрооборудования для объектов с пожаровзрывоопасными производствами необходимо учитывать класс взрывоопасной зоны, а также категорию и группу взрывоопасной смеси. Группа смеси зависит от температуры ее самовоспламенения, которая определяется экспериментально и указывается в справочной литературе и ГОСТах. Следует ли использовать значения температуры самовоспламенения из нормативных документов при определении максимальной температуры поверхности взрывозащищенного электрооборудования?

ОТВЕТ:

Многие специалисты в области обеспечения пожаровзрывобезопасности электроустановок привыкли пользоваться гл. 7.3 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1], в частности табл. 7.3.3 ПУЭ, в которой указываются категории и группы различных взрывоопасных смесей. Группа смеси является определяющей при выборе температурного класса (максимальной температуры поверхности) взрывозащищенного электрооборудования (далее — *Ex*-оборудование). Главным критерием отнесения смеси к той или иной группе является температура самовоспламенения $T_{\text{св}}$, конкретные значения которой указаны в нормативных документах (например, в ГОСТ 30852.5–2002 [2] и ГОСТ Р МЭК 60079-20-1–2011 [3]). По ГОСТу [3] температура самовоспламенения $T_{\text{св}}$ — наименьшая температура нагретой поверхности, при которой происходит самовоспламенение горючего газа или пара в смеси с воздухом или инертным газом при указанных условиях испытаний. В ГОСТах [2, 3] приводятся одинаковые методы испытаний с идентичным экспериментальным оборудованием. Для испытаний применяются установки двух типов — МЭК (Международная электротехническая комиссия) и DIN (*Deutsches Institut für Normung* — Институт стандартизации Германии). Размер испытательной колбы определенной формы из боросиликатного стекла составляет 200 мл. Измерения температуры самовоспламенения проводят при давлении окружающей среды ($1,013 \pm 0,020$) кПа и ее температуре (20 ± 2) °C.

На практике при выборе температурного класса *Ex*-оборудования зачастую используют нормативные значения $T_{\text{св}}$ [1–3] для конкретной взрывоопасной смеси, совершенно забывая о том, что они являются непостоянными величинами.

Согласно тепловой теории самовоспламенения Н. Н. Семёнова величина $T_{\text{св}}$ зависит от скоростей тепловыделения и теплоотвода, которые, в свою очередь, зависят от объема горючего вещества, его состава, концентрации, давления, наличия катализаторов и т. д. Кроме того, опытным путем было установлено, что на параметр $T_{\text{св}}$ влияет форма и объем сосуда, в котором находится смесь. Если форма сосудов одинаковая, то чем больше объем, тем меньше величина $T_{\text{св}}$. При этом для каждого вещества существует определенный максимальный объем сосуда, при котором температура самовоспламенения $T_{\text{св}}$ больше не снижается. Это объясняется тем, что в больших объемах смесь самовоспламеняется только в части объема с наиболее благоприятными для этого условиями. В связи с этим в большом объеме изменение теплоотвода через наружные стенки сосуда практически не влияет на изменение температуры самовоспламенения смеси в отличие от малых объемов. Важно отметить, что есть и минимальный объем, в котором большая удельная площадь поверхности теплоотвода (отношение площади стенок S к объему сосуда V (м^{-1})) приводит к тому, что скорость выделения тепла в процессе окисления смеси не может превышать скорость теплоотвода, поэтому самовоспламенения не происходит даже при очень высоких температурах.

Следует также учитывать форму сосуда, в котором нагревается смесь. В сосудах с малой площадью поверхности теплоотвода (например, в форме куба) смесь самовоспламеняется, а в сосуде с большой (например, в виде тонкой щели между двумя плоскими стенками) — самовоспламенения смеси может не быть вовсе.

Из вышесказанного следует, что специалистам при оценке температуры самовоспламенения смеси в обязательном порядке следует учитывать форму и размеры сосудов (технологического оборудования), в которых по условиям технологического процесса будет обращаться горючая смесь. Кроме того, необходимо помнить, что значительное влияние на величину $T_{\text{св}}$ оказывает и давление в сосуде (технологическом аппарате). Чем выше давление, тем ниже температура самовоспламенения $T_{\text{св}}$. На производстве возможно обращение одних и тех же пожаровзрывоопасных веществ при различных давлениях, что может значительно снижать значение $T_{\text{св}}$.

Немаловажное влияние на величину $T_{\text{св}}$ оказывает состав смеси и присутствие в ней катализаторов. Выделяют положительные (ускоряющие химическую реакцию) катализаторы, приводящие к снижению температуры самовоспламенения $T_{\text{св}}$, и отрицательные (замедляющие), вызывающие ее повышение. Применение катализаторов имеет широкое распространение в технологических процессах, что, в свою очередь, ведет к необходимости уточнения значений $T_{\text{св}}$ при выборе безопасного электрооборудования.

С повышением точности измерительных приборов появляется возможность более качественного определения величины $T_{\text{св}}$. В результате для одних и тех же веществ в действующих стандартах [2, 3] значения $T_{\text{св}}$ могут различаться. В качестве примера можно привести сероуглерод, температура самовоспламенения которого по ГОСТу [2] составляет 102 °C (группа смеси T5), а по ГОСТу [3] — 90 °C (группа смеси T6). Следовательно, и температурный класс *Ex*-оборудования для данного вещества может быть различным. К подобным веществам можно отнести декан, триметиламин и др. В стандартах [2, 3] представлены также вещества, имеющие «обратные» значения $T_{\text{св}}$. Например, этилацетат, который по ГОСТу [2] относится к группе смеси T2, а по ГОСТу [3] — к группе смеси T1. Эти и другие примеры расхождений в значениях $T_{\text{св}}$ указывают на то, что при определении как группы взрывоопасной смеси, так и температурного класса *Ex*-оборудования нельзя опираться только на данные, приведенные в стандартах. На практике при выборе безопасного электрооборудования в первую очередь следует руководствоваться особенностями технологического процесса и условиями применения пожаровзрывоопасных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.
2. ГОСТ 30852.5–2002 (МЭК 60079-4:1975). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 4. Метод определения температуры самовоспламенения. — Введ. 15.02.2014. — М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ Р МЭК 60079-20-1–2011. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. — Введ. 01.07.2012. — М.: Стандартинформ, 2012.

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)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 5–7 предложений).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

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

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

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

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

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

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

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 0869-7493

Открыта
подписка
на журнал

2016

ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



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

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

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

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

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



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

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

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

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru