

4-2016

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРО-
ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОТРАБОТАВШИХ СТУПЕНЕЙ
РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ



КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

17 - 20 мая

Москва, ВДНХ, павильон 75



международный салон

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2016

РЕКЛАМА

Тематические разделы

-  Пожарная безопасность
-  Техника охраны
-  Безопасность границы
-  Медицина катастроф
-  Защита и оборона

-  Средства спасения
-  Экологическая безопасность
-  Промышленная безопасность
-  Информационные технологии
-  Комплексная безопасность на транспорте

-  Ядерная радиационная и химическая безопасность
-  Авиационно-спасательные технологии гражданской обороны
-  Безопасность на водных объектах
-  Технологии дистанционного зондирования земли
-  Материально-техническое обеспечение силовых структур

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

МЕШМАН Л. М., РОМАНОВА Е. Ю.
Проблемы разработки методики испытаний
неметаллических труб и фитингов и гибких
металлических труб на пожаростойкость

5

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

ШАТРОВ Я. Т., БАРАНОВ Д. А.,
СУЙМЕНБАЕВ Б. Т., ТРУШЛЯКОВ В. И.
Повышение пожаровзрывобезопасности
при эксплуатации отработавших ступеней ракет-
носителей с жидкостными ракетными двигателями

30

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

СЛЮСАРЕВ С. В., САМОШИН Д. А.
Параметры движения маломобильных детей
для определения расчетного времени эвакуации
из зданий с их массовым пребыванием

43

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Факторы, снижающие огнетушащую эффективность
подслойной системы при тушении пламени
нефтепродуктов

ВОЛКОВ Р. С., ВОЙТКОВ И. С., ВЫСОКОМОРНАЯ О. В.
Особенности тушения жидких топлив и органических
горючих жидкостей распыленным потоком воды

56

68

ДИСКУССИИ

ФРОЛОВ Д. А.
Адресные системы. К вопросу об иерархии
и адресных компонентах

76

ВОПРОС – ОТВЕТ

82

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

MESHMAN L. M., ROMANOVA E. Yu.
Problems of development of test procedure
for non-metallic pipes and fittings as well
as flexible metal pipes for fire endurance

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

SHATROV Ya. T., BARANOV D. A.,
SUIIMENBAYEV B. T., TRUSHLYAKOV V. I.
Fire and explosion safety improvement
during the launch vehicle worked-off stages
with liquid propulsion engine operation

FIRE SAFETY OF PEOPLE

SLYUSAREV S. V., SAMOSHIN D. A.
Parameters of the movement children with limited
mobility for definition of an evacuation time estimate
from buildings with their mass stay

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

KOROLCHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.
Factors which reduce fire extinguishing efficiency
of sublayer system during suppression of the flame
of oil products

VOLKOV R. S., VOYTKOV I. S., VYSOKOMORNAYA O. V.
Features of extinguishing of the liquid fuels and organic
flammable liquids by an atomized water flow

DISCUSSION

FROLOV D. A.
Hierarchical alarm system. Some questions
of a hierarchy and addressable components

QUESTION – ANSWER

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

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

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

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



Методика испытаний труб на пожаростойкость



Пожаровзрывобезопасность ОС ракет-носителей



Расчет времени эвакуации маломобильных детей



Огнетушащая эффективность подслоной системы



Адресные пожарные системы

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 15.04.2016. Выход в свет 25.04.2016.

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).

Стр. 5

Стр. 30

Стр. 43

Стр. 56

Стр. 76

**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 15.04.2016

Date of publication 25.04.2016

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)

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)

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

УДК 614.8

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ И ФИТИНГОВ И ГИБКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ НА ПОЖАРОСТОЙКОСТЬ

Показаны различия в методах огневых испытаний веществ, материалов и изделий на воспламеняемость, распространение пламени, горючесть, огнестойкость и пожароопасность. Отмечается, что стендовое оборудование, методы и режимы испытаний, изложенные в отечественных и зарубежных стандартах и патентах на изобретение, не отвечают в полной мере поставленным целям. Предложен стенд для определения пожаростойкости неметаллических труб и фитингов и гибких металлических труб. Обоснованы номенклатура и значения комплекса параметров, характеризующих пожаростойкость. Показано, что пожаростойкость, являясь в целом интегральной характеристикой, позволяет осуществить обоснованный выбор конкретных труб и фитингов для реальных пожароопасных объектов. В качестве комплекса параметров, характеризующих пожаростойкость, предложены продолжительность испытаний до разгерметизации трубы, температура испытаний, гидравлическое или пневматическое давление, расход через трубу, осуществляемый автоматически через фиксированное время после начала испытаний.

Ключевые слова: воспламеняемость; герметичность; гидравлическое и пневматическое давление; горючесть; испытание; огнестойкость; пожаростойкость; продолжительность испытаний; разгерметизация; распространение пламени; режим испытаний; расход; давление; температура.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.5-29

1. Актуальность применения неметаллических труб и гибких металлических труб. Виды и особенности различных методов огневых испытаний

В мировую практику водоснабжения, отопления и канализации, а также пожаротушения еще в прошлом столетии начали широко внедряться пластмассовые трубы, что регламентировалось рядом нормативных документов.

Пластмассовые трубы и фитинги к ним сертифицированы для применения их в спринклерных водозаполненных установках пожаротушения во многих странах мира.

Пластмассовые трубы и фитинги в автоматических установках пожаротушения (АУП) имеют неоспоримые преимущества перед стальными трубопроводными системами:

- повышенную пропускную способность вследствие малой шероховатости поверхности стенок;
- высокую абразивную устойчивость;
- коррозионную и химическую устойчивость, что допускает их использование во внешней агрессивной среде, исключает появление внутри и снаружи ржавчины и, как следствие, предотвращает сужение эффективного диаметра трубопроводов;

- уменьшение образования конденсата на наружной поверхности трубопроводов;
- существенное сокращение сроков монтажа, минимизацию затрат на монтаж и дальнейшее техническое обслуживание инженерных систем;
- идеальное соответствие жестким требованиям, предъявляемым к АУП, использующим тонкораспыленную воду;
- минимальные затраты на техническое обслуживание и ремонт (затраты на эксплуатацию составляют 10–15 % от затрат на стальные трубопроводные системы);
- многократное снижение нагрузки на конструкции перекрытий из-за низкой удельной плотности пластмассовых труб по сравнению со стальными;
- долговечность и надежность систем;
- практически неограниченный срок службы труб.

Именно вследствие совокупности изложенных факторов применение неметаллических труб в водяных и пенных АУП идет нарастающими темпами [1–7].

Однако, несмотря на явные технологические и эксплуатационные преимущества, пластмассовые трубы долгое время не находили применения в оте-

чественных водяных и пенных АУП. Первым нормативным документом, регламентирующим использование этих труб в АУП, стали НПБ 88–2001 [8], в которых указывалось, что “применение пластиковых труб допускается только в водозаполненных спринклерных установках при проведении соответствующих испытаний специализированной организацией. При этом проектирование таких установок должно осуществляться по техническим условиям, разрабатываемым для каждого конкретного объекта”. Данное положение было практически сохранено в неизменном виде и в п. 5.7.3 СП 5.13130.2009 [9]: “Применение пластмассовых, металлопластиковых и других видов трубопроводов и их соединений, а также прокладок и уплотняющих герметизирующих материалов для них допускается в том случае, если они прошли соответствующие испытания. Проектирование таких видов трубопроводов и их соединений должно осуществляться по техническим условиям, разработанным для каждого конкретного объекта или группы однородных объектов. Разработку методики огневых испытаний и технических условий должна осуществлять организация, имеющая соответствующие полномочия”. Под “огневыми испытаниями” подразумеваются испытания на пожаростойкость. Согласно разрабатываемому в настоящее время проекту ГОСТ Р “Пожарная автоматика. Термины и определения” пожаростойкость труб (fire durability) — это способность труб, не заполненных или заполненных огнетушащим веществом (с расходом или без него), противостоять в течение контрольного времени определенной температуре пожара без потери герметичности.

Стандарты, регламентирующие технические требования и методы испытаний пластмассовых труб, предназначенных для использования в АУП, отсутствуют. Нет этих положений и в Федеральном законе № 123-ФЗ [10], вследствие чего сертификационные испытания на данный вид продукции носят добровольный характер.

В связи с этим по сложившейся практике в соответствии с требованиями НПБ 88–2001* [8] и пришедшему им на смену СП 5.13130.2009 [9] принималась (и принимается до сих пор) добровольная сертификация этой продукции на прочность и пожаростойкость. Без подобного сертификата пластиковые трубы к применению не допускались и не допускаются. Следует отметить, что, хотя пластиковые трубы и разрешалось использовать в спринклерных водозаполненных АУП с 2001 г., повсеместное применение в АУП сдерживалось их низкой пожаростойкостью. Первая сертифицированная на пожаростойкость труба “Акватерм Firestop” появилась лишь в 2005 г. До этого времени многочисленные, представляемые на испытания пластиковые трубы не со-

ответствовали разработанной во ВНИИПО и согласованной УГПН МЧС России концепции испытаний пластиковых труб на пожаростойкость [11].

Испытания на пожаростойкость, так же как и на воспламеняемость, распространение пламени, горючесть, огнестойкость и пожароопасность, являются одним из видов огневых испытаний по оценке стойкости объектов и материалов к пламени и температуре в зависимости от вида и назначения объекта исследования. Однако между этими испытаниями и их оценкой имеются существенные отличия.

Результаты испытаний на пожаростойкость оценивают по способности труб сохранять герметичность в течение определенного периода внешнего воздействия на них интенсивных тепловых потоков и внутреннего воздействия гидравлического или пневматического давления, а результаты испытаний на воспламеняемость, горючесть и огнестойкость — по способности объектов (изделий), кабельной продукции и различного рода материалов противостоять воспламенению, загоранию или не поддерживать горение.

В соответствии с действующими нормативными документами:

- *воспламеняемость* (flammability, ignitability) — способность веществ и материалов к воспламенению (воспламенение — начало пламенного горения под действием источника зажигания, характеризующегося устойчивым пламенным горением) [12, 13];
- *распространение пламени* (spread flame) — распространение пламенного горения по поверхности образца, вещества или материала в результате воздействия, предусмотренного соответствующим стандартом [14];
- *горючесть* (combustibility) — способность веществ и материалов к развитию процесса горения [15, 16];
- *огнестойкость* (fire endurance) — способность конструкции сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара [16, 17];
- *пожароопасность* (fire hazard) — возможное появление пламени от тока короткого замыкания в поврежденном контуре или в неисправном соединении, которое может воздействовать на находящиеся вблизи горючие части электрооборудования [18].

Испытаниям на воспламеняемость, горючесть, распространение пламени, огнестойкость и пожароопасность подвергают объекты (изделия), кабельную продукцию и различного рода материалы. Характерной особенностью этих испытаний является воздействие на экспонируемую поверхность испытываемого объекта накаливаемого стержня, открытого пламени пропан-бутановой горелки Бунзена или

Тиррилла либо высокотемпературного поля, создаваемого в специальной тепловой камере сгорания (нагревательной печи) [12–15, 18–27]. Испытания на горючесть и негорючесть по методам, изложенным в [15, 28], проводят в специальной трубчатой печи, выполненной из керамики, в течение 30–60 мин при рабочей температуре 750–835 °С и электропитании от сети переменного тока. При испытании на горючесть и воспламеняемость по ГОСТ Р 50695–94 [13] и ГОСТ Р 30244–94 [15] реализуется температурный режим 300–955 °С, тестирование длится от 10 мин до 1 ч.

К частным или совокупным недостаткам таких испытательных стендов применительно к испытаниям на пожаростойкость неметаллических труб или гибких металлических труб относятся:

- отсутствие возможности проверки влияния степени прогрева испытываемого изделия на его герметичность или прочностные характеристики;
- невозможность непосредственного наблюдения за состоянием трубы в процессе испытаний;
- кратковременность воздействия на испытываемый образец тепловых потоков;
- чрезвычайно ограниченная зона, подвергаемая воздействию пламени;
- отсутствие гидравлического и пневматического источников давления, необходимых для проверки неметаллических труб или гибких металлических труб на пожаростойкость;
- невозможность определения собственно пожаростойкости.

Недостатками данного способа являются отсутствие возможности проверки влияния степени прогрева испытываемого изделия (даже если это труба) на его герметичность или прочностные характеристики, а также отсутствие параметров вытяжной вентиляции, которые существенным образом могут влиять на характер горения и распространение пламени.

Основные критерии оценки результатов огневых испытаний согласно [12–15, 18] приведены в табл. 1.

Оценка пожаростойкости неметаллических труб по методам, приведенным в табл. 1, не представляется возможной по следующим причинам:

- предусматриваются испытания не изделий, а образцов определенного материала;
- отсутствует воздействие на материал внешних сил, свойственных эксплуатационным условиям (например, избыточное гидравлическое или пневматическое давление);
- неясно, как могут сказаться контролируемые повреждения на герметичность трубы, находящейся под избыточным гидравлическим или пневматическим давлением.

Методики проверки огнестойкости металлических трубопроводных сборок с муфтовыми соединениями при воздействии на них пламени жидкого модельного очага пожара (МОП) приведены в ГОСТ Р 53272–2009 [29] и ISO 6182–12 [30].

Стенд, разработанный во ВНИИПО для испытаний муфтовых соединений металлических труб, представлен на рис. 1 [29]. В качестве МОП используется противень диаметром (150±30) мм, заполненный 0,5–2,0 л гептана. Испытательное давление в трубах — (1,00±0,05) МПа. В зависимости от диаметра испытываемой трубопроводной сборки она нагружается мерным грузом массой от 9 до 85 кг.

Под муфтой помещается МОП. Расстояние от зеркала горючего до нижней части трубы устанавливается с таким расчетом, чтобы температура в контролируемой зоне в первые 2–3 мин составляла (300±50) °С, а в последующее время — (500±50) °С. Общая продолжительность испытания с момента поджигания МОП независимо от диаметра трубы — менее 8 мин. Результаты огневых испытаний считают удовлетворительными, если испытываемые изделия не имеют признаков разрушения, разрывов и протечки воды.

Примерно такие же испытания предусмотрены для проверки герметичности стальной трубопроводной сборки по ISO 6182–12 [30]. Размеры МОП: 200×400×60 мм, объем метанола 0,5 л для труб DN < 100 и 1,0 л — для труб DN ≥ 100. Продолжительность горения составляет 5 мин для труб DN < 100 и 8 мин — для труб DN ≥ 100. После охлаждения испытываемого образца до комнатной температуры трубопроводная сборка должна быть испытана в течение 2 мин на герметичность под гидравлическим давлением 0,2 МПа.

Недостатками этих способов применительно к проверке пожаростойкости являются: неоднородность распределения температуры вокруг и по длине трубы, низкое испытательное давление, отсутствие автоматизации проведения всех циклов испытания и регистрации протечки.

Огневые испытания изделий согласно ГОСТ Р 53299–2013 [20] и ГОСТ Р 53304–2009 [21] предусматривают оценку огнестойкости именно изделий, в частности воздуховодов и стволов мусоропроводов (табл. 2).

В соответствии с ГОСТ Р 53299–2009 [20] и ГОСТ 30247.0–94 [31] режимы испытания выбирают исходя из некоторых обобщенных режимов реальных пожаров, воздействующих на эту продукцию на различных стадиях пожара. Например, длительность испытания на огнестойкость строительных конструкций по ГОСТ 30247.0–94 [31] может варьироваться от 15 мин до 6 ч, температурный режим — от 718 до 1193 °С, что связано с необходимостью

Таблица 1. Критерии оценки результатов огневых испытаний согласно [12–15, 18]

Вид огневого испытания	Габаритные размеры* образцов, мм	Критерии оценки
Воспламеня- емость по ГОСТ 30402–96 [12]	$L \times B$ 165 × 165, $h \leq 70$	Параметры воспламеняемости: ППТП**, время воспламенения при ППТП для каждого из образцов. Вывод о группе воспламеняемости материала с указанием величины КППТП**. Дополнительные наблюдения при испытании образца: время и место воспламенения; процесс разрушения образца под действием теплового излучения и пламени; плавление, вспучивание, расслоение, растрескивание, набухание либо усадка
Воспламеня- емость по ГОСТ Р 50695–94 [13]	$L \times B \times \delta$ 125 × 10 × 4	Класс ВН (СГ) — горизонтальное положение образца: 1 — отсутствие видимого пламени; 2 — пламя гаснет, не достигнув отметки 100 мм; 3 — пламя достигает отметки 100 мм
	$L \times B \times \delta$ 125 × 13 × 3	Класс ФН (ПГ) — горизонтальное положение образца: 1 — отсутствие видимого пламени; 2 — пламя гаснет, не достигнув отметки 100 мм; 3 — пламя достигает отметки 100 мм. Класс FV (ПВ) — вертикальное положение образца: — время горения; — время тления; — появление расплавленных капель или горящих частиц, вызывающих воспламенение ваты, находящейся на 300 мм ниже испытываемого образца
	$L \times B \times \delta$ 125 × 13 × 3; 150 × 150 × 3	Класс LFH (ПБГ) — горизонтальное положение образца: — продолжительность горения и тления; — появление падающих частиц; — прогорание испытываемого образца (насквозь или нет)
	$L \times B \times \delta$ 125 × 13 × 3	Класс LFV (ПБВ) — вертикальное положение образца: — продолжительность горения и тления; — появление частиц, вызывающих воспламенение хлопкового адсорбента
Распространение пламени по ГОСТ Р 51032–97 [14]	$L \times B \times \delta$ 1100 × 250 × 50	Длина поврежденной части образца по его продольной оси. Примечания: 1. Повреждением считается выгорание и обугливание материала образца в результате распространения пламенного горения по его поверхности. 2. Оплавление, коробление, спекание, вспучивание, усадка, изменение цвета, формы, нарушение целостности образца (разрывы, сколы поверхности и т. п.) повреждением не считаются
Горючесть по ГОСТ Р 30244–94 [15]	$\varnothing 45$ $h = 50$	Условие достижения температурного баланса по показаниям трех термпар, после чего не менее чем через 30 мин испытание прекращают и фиксируют его продолжительность
	$L \times B$ 1100 × 190, $h \leq 70$	Длина отрезков неповрежденной части образцов и их остаточная масса, определяемые по окончании испытания. Примечания: 1. Неповрежденной считают ту часть образца, которая не сгорела и не обуглилась. 2. Осаждение сажи, изменение цвета образца, местные сколы, спекание, оплавление, вспучивание, усадка, коробление, изменение шероховатости поверхности не считаются повреждениями
Пожароопас- ность по ГОСТ 27484–87 (МЭК 695-2-2–80) [18]		Продолжительность воздействия пламени горелки на образец, определяемая (если не оговорены другие условия) из ряда: 5, 10, 20, 30, 60, 120 с. Степень повреждения образца. Примечания: 1. Продолжительность горения — интервал времени с момента устранения источника зажигания (горелки) до исчезновения возникшего пламени или прекращения свечения образца. 2. Степень повреждения образца — расстояние между центром площади приложения пламени горелки и наиболее удаленным следом горения. 3. След горения — разрушенная в результате горения площадь образца, включая обугливание. При определении следа горения изменение цвета, образование сажи, а также изменение формы образца под действием тепла, оплавление или обгорание его поверхности не учитываются.

Вид огневого испытания	Габаритные размеры* образцов, мм	Критерии оценки
		Положительным фактором испытаний на пожароопасность является: — отсутствие воспламенения образца; — нераспространение загорания на окружающие части образца при попадании на них горящих или раскаленных частиц либо при воздействии пламени; — отсутствие свечения образца или открытого пламени после удаления источника зажигания либо горение, продолжающееся не более 30 с; — непревышение степени повреждения образца
* L — длина, мм; B — ширина, мм; h — высота, мм; δ — толщина, мм. ** ППТП — поверхностная плотность теплового потока (величина лучистого теплового потока, действующего на единицу площади поверхности образца). КППТП — критическая поверхностная плотность теплового потока (минимальное значение поверхностной плотности теплового потока, при котором возникает устойчивое пламенное горение).		

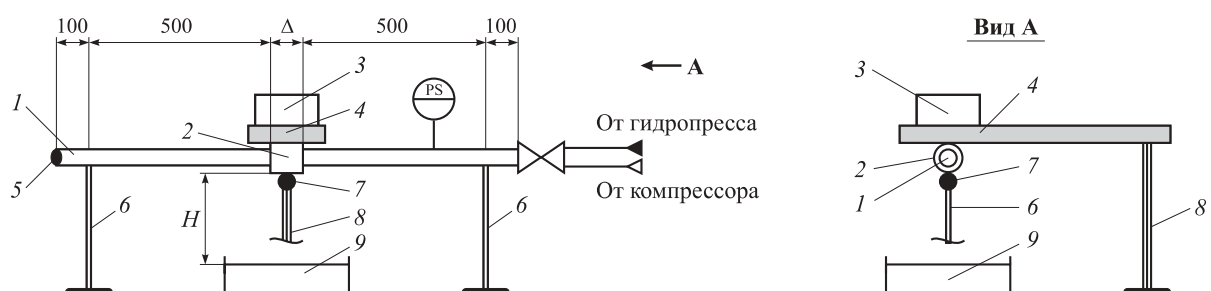


Рис. 1. Стенд для испытания углеродистых и нержавеющей труб: 1 — труба; 2 — муфта (пресс-фитинг); 3 — мерный груз; 4 — металлическая паллета; 5 — заглушка; 6 — опоры; 7 — термопара; 8 — стойка; 9 — МОП; Δ — длина муфты; H — высота от зеркала горячего до муфты

соответствия строительных конструкций, обеспечивающих безопасность зданий и сооружений при пожарах, предъявляемым к ним требованиям по огнестойкости.

Однако ни методы оценки огнестойкости воздуховодов и стволов мусоропроводов, ни режимы их испытаний, приведенные в табл. 2, ни стендовое оборудование, описанное в [20, 21, 31], практически не представляется возможным использовать для оценки пожаростойкости неметаллических труб вследствие:

- непригодности стендового оборудования по ГОСТ Р 53299–2013 [20] и ГОСТ Р 53304–2009 [21] для монтажа протяженных нагревательного устройства и неметаллических труб в сборе с фитингами;
- отсутствия источников гидравлического и пневматического давления;
- невозможности применения измерительного комплекса для контроля разгерметизации трубы.

Несмотря на неприемлемость описанных методов огневых испытаний для оценки пожаростойкости неметаллических труб и существенные различия в определениях терминов “пожаростойкость”, с одной стороны, и “воспламеняемость, распространение пламени, горючесть и огнестойкость” — с другой, некоторыми центрами по сертификации (например,

“Огнестойкость-ЦНИИСК”, ФГУП ГНИХТЭОС, “Композит-сертификат”) были выданы сертификаты на полимерные трубы, предназначенные для использования в трубопроводах внутреннего противопожарного водопровода и водопроводе всех видов водяных АУП — дренчерных и спринклерных (в том числе воздушных), в части, отвечающей требованиям соответствия и пожарной безопасности, установленным ранее в НПБ 244–97 [32]. В то же время согласно требованиям действовавших на то время НПБ 88–2001* (п. 4.27*) [8] и действующего в настоящее время СП 5.13130.2009 [9] применение пластиковых труб регламентируется исключительно для водозаполненных спринклерных АУП.

Чаще всего путаница происходит в понятиях “пожаростойкость” и “горючесть” или “огнестойкость”. Если материал трубы и был признан негорючим или даже огнестойким, это не значит, что труба не даст течи, находясь под воздействием давления и тепловых потоков пожара.

Испытания на пожаростойкость принципиально отличаются от испытаний на воспламеняемость, горючесть, распространение пламени, огнестойкость и пожароопасность, так как предусматривают проверку работоспособности труб в условиях, соответствующих рабочему режиму водяных АУП при экс-

Таблица 2. Оценка огнестойкости изделий [20, 21]

Вид огневого испытания	Сущность метода	Критерии оценки
Огнестойкость по ГОСТ Р 53299–2013 [20]	Определение времени, по истечении которого наступает одно из предельных состояний конструкции воздуховода при его наружном обогреве с одновременным нагружением избыточным давлением (разрежением) во внутренней полости. Температурный режим в печи — согласно требованиям ГОСТ Р 30247.0–94. Избыточное давление (разрежение) во внутренних полостях конструкций воздуховодов — (300 ± 6) Па. Примечание. С учетом специфики функционального назначения воздуховодов температурные режимы и избыточное давление (разрежение) в их внутренних полостях могут быть изменены в соответствии с технической документацией на изделие	Огнестойкость конструкции воздуховода определяется временем с момента начала нагревания испытываемой конструкции воздуховода до наступления одного из предельных состояний: — потери теплоизолирующей способности (I) при повышении температуры в среднем более чем на 140°C или локально более чем на 180°C на наружных поверхностях (но не более 220°C в любых точках); — потери плотности (E): • образование в узлах уплотнения зазоров в местах прохода воздуховодов через ограждения печи или в конструкциях воздуховодов с необогреваемой стороны визуально обнаруживаемых сквозных трещин или сквозных отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя; • превышение допустимых величин подсосов или утечек газа через неплотности конструкций воздуховодов
Огнестойкость по ГОСТ Р 53304–2009 [21]	Определение времени, по истечении которого наступает предельное состояние стволов мусоропроводов при их обогреве с одновременным созданием перепада давления между внутренней полостью ствола и коллектором испытательного стенда. Температура газовой среды во входном сечении испытываемой конструкции в процессе испытаний определяется соотношением $T - T_0 = 115 \lg(5\tau + 1),$ где T — температура газовой среды во входном сечении испытываемой конструкции; T_0 — начальная температура окружающей среды; τ — текущее время от начала нагрева. Разрежение в коллекторе испытательного стенда — (70 ± 5) Па	Огнестойкость стволов мусоропроводов определяется временем с момента начала нагревания испытываемой конструкции до наступления предельного состояния по потере плотности (E) (превышение предельно допустимых величин утечек газа через неплотности этих конструкций). Предельно допустимые утечки через неплотности конструкций стволов и загрузочных клапанов, приведенные к температуре 20°C, не должны превышать $170 \text{ м}^3/\text{ч}$. Фактический предел огнестойкости испытываемой конструкции определяется интервалом времени с момента начала нагревания до наступления потери плотности. По результатам испытания конструкции присваивается классификационное обозначение от “E 15” до “E 360” (которое соответствует установленному фактическому пределу огнестойкости конструкции или меньше его)
Огнестойкость по ГОСТ 30247.0–94 [31]	Определение времени с момента начала теплового воздействия на конструкцию до наступления одного или последовательно нескольких предельных состояний по огнестойкости с учетом функционального назначения конструкции: $T - T_0 = 345 \lg(8t + 1),$ где T, T_0 — соответственно текущая и начальная температуры в печи; t — текущее время с начала испытания, мин. Продолжительность испытаний — 360 мин. Цифровой показатель в обозначении предела огнестойкости соответствует одному из чисел следующего ряда: 15, 30, 45, 60, 90, 180, 240, 360. Примечание. При необходимости может быть организован другой температурный режим, учитывающий реальные условия пожара	Различают следующие основные виды предельных состояний строительных конструкций по огнестойкости: — потеря несущей способности вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (R); — потеря целостности (E) (образование в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя); — потеря теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных для данной конструкции значений

плутации и близких к реальному пожару в начальный период его развития.

Эти испытания проводятся либо на специальном стендовом оборудовании, на котором испытываемая труба крепится или устанавливается на ложементы, либо в специальном помещении — камере ограниченного объема или в помещении, значительно большем по объему, в котором испытываемая труба крепится к потолку согласно требованиям по монтажу для соответствующих труб.

2. Отечественные методики испытаний на пожаростойкость

В отечественной практике для испытаний неметаллических и гибких металлических трубопроводов на пожаростойкость используются два вида помещений: ограниченное и практически неограниченное по объему [11]. Причем испытания проводятся как с расходом или без расхода воды из трубы, так и с подачей воды на очаг пожара через оросители (распылители).

Испытания по первому варианту проводят в камере, представляющей собой фрагмент помещения объемом 27 м^3 ($3 \times 3 \times 3 \text{ м}$). Схема стенда для испытаний без расхода воды показана на рис. 2. Две стены и потолок выполнены из фанеры толщиной 10 мм, две другие стены — из кирпича с толщиной кладки 30 см, пол — цементный.

Испытываемую трубу 2 (или 4) длиной до 3 м монтируют под потолком. Расстояние от оси трубопровода до потолка — 10–20 см. МОП располагают в центре камеры под испытываемой трубой или у кирпичной стены. Испытываемую трубу заполняют водой, не допуская воздушных пробок. Давление в заполненной водой испытываемом трубопроводе поддерживается равным 0,6–1,0 МПа.

На обособленной, не заполненной огнетушащим веществом и находящейся под атмосферным давлением металлической трубе 7, параллельной испытываемой трубе 2 (или 4), монтируются оросители 1, которые предназначены, наряду с регистрацией температуры, для контроля стабильности режима испытаний. Расстояние между трубами 2 и 7 — 15–20 см, между оросителями — 1 м, от розетки оросителей до потолка $h = (15 \div 25) \text{ см}$.

Температуру контролируют термопреобразователем 3, установленным на расстоянии не более 3 см от термочувствительной колбы оросителя 1. В качестве модельного очага пожара используют противень диаметром 550 мм. Горючее — пентан, гептан, ацетон или бензин А-80. Объем горючего — 5,5 л.

Одновременно с поджиганием горючей жидкости включают измеритель времени. Момент срабатывания спринклерных оросителей 1 устанавливают по характерному хлопку. Момент срабатывания спринклерных оросителей, вероятного разрыва трубы или разрушения фитингов определяют визуально и/или по резкому снижению давления, которое регистрируется датчиком давления или манометром.

Испытания продолжают не менее 5 мин. Критерием положительной оценки результатов испытаний является:

- продолжительность воздействия на трубу и фитинги температур 330–390 или 340–500 °С — не менее 5 мин (причем воздействие температуры более 350 °С должно быть не менее 3 мин);
- время срабатывания оросителей 1 — не более 50–60 с;
- отсутствие утечки воды через места соединений *труба – труба* или *труба – фитинг*;
- отсутствие падающих капель или частиц материала трубы или фитингов;

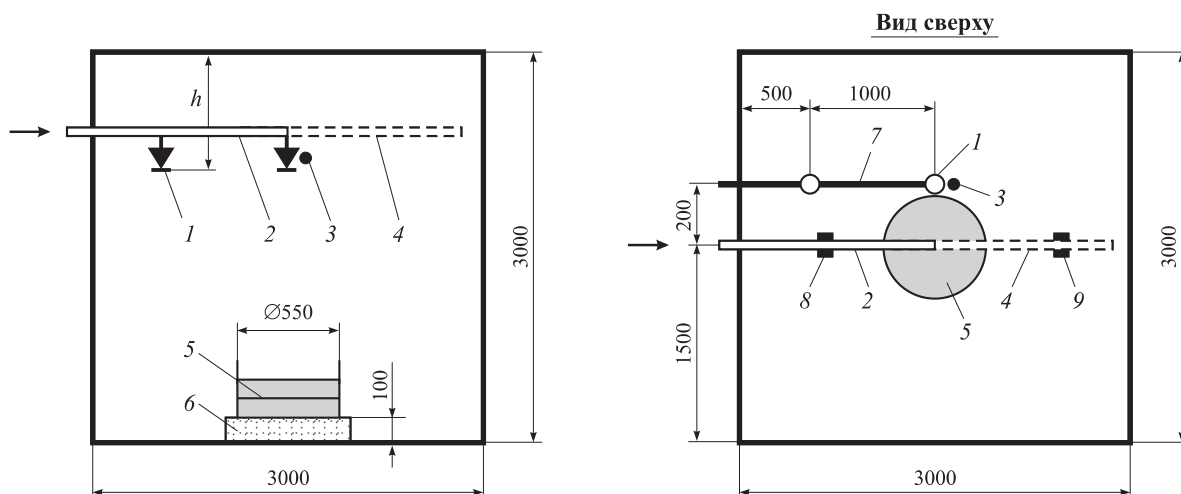


Рис. 2. Схема стенда для испытаний на пожаростойкость без расхода воды: 1 — спринклерный ороситель; 2 — испытываемая труба (рабочая длина ~1,5 м); 3 — термопреобразователь; 4 — испытываемая труба (рабочая длина > 2,5 м); 5 — модельный очаг пожара; 6 — подставка; 7 — металлическая труба со смонтированными спринклерными оросителями 1; 8, 9 — подвески; h — расстояние от потолка соответственно до оси трубы и розетки оросителя

- сохранение целостности испытываемой трубопроводной сборки в месте ее соприкосновения с подвесками.

Состояние труб до и после испытаний представлено на рис. 3 и 4.

В состав стенда для испытаний на пожаростойкость с расходом воды (рис. 5) по сравнению с приведенным на рис. 2 добавлен шаровой кран *б* для тарирования расхода воды из трубопроводной сборки и гибкий рукав *10*. Методика испытаний на начальном этапе аналогична предыдущей, но отличается тем, что спустя 60 с после срабатывания обоих оросителей *1* открывают кран *б*, оттарированный на расход $(0,18 \pm 0,02) \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$.

Если по методике, соответствующей рис. 2, испытания выдерживали трубы, например, диаметром DN 40 и более, то по методике, соответствующей



Рис. 3. Состояние трубы диаметром 125 мм до (а) и после (б) испытаний при максимальной температуре пожара 340–500 °С



Рис. 4. Состояние трубы диаметром 32 мм до (а) и после (б) испытаний при максимальной температуре пожара 360–500 °С

рис. 5, положительный результат наблюдался уже на трубах диаметром DN 32.

Еще более хорошие результаты получены для испытываемой трубы диаметром DN 32 (длина рабочего участка трубы 1,2 м) и при орошении внутреннего пространства испытываемой камеры спринклерным оросителем, смонтированным по центру камеры на испытываемой трубе (рис. 6). Коэффициент производительности оросителя $K \sim 0,4 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^{0,5})$, давление подачи — 0,05 МПа. Для исключения воздействия распыленного потока воды на МОП его сбоку прикрывали защитным экраном. По завершении проверки испытываемые трубы не имели видимых деформаций, их окраска практически не изменилась, они лишь слегка покрылись серым налетом копоти.

К недостаткам данных методик испытаний на пожаростойкость, проводимых в помещении ограниченного объема, следует отнести следующее:

- необходимость использования для испытаний специального огнестойкого вентилируемого по-

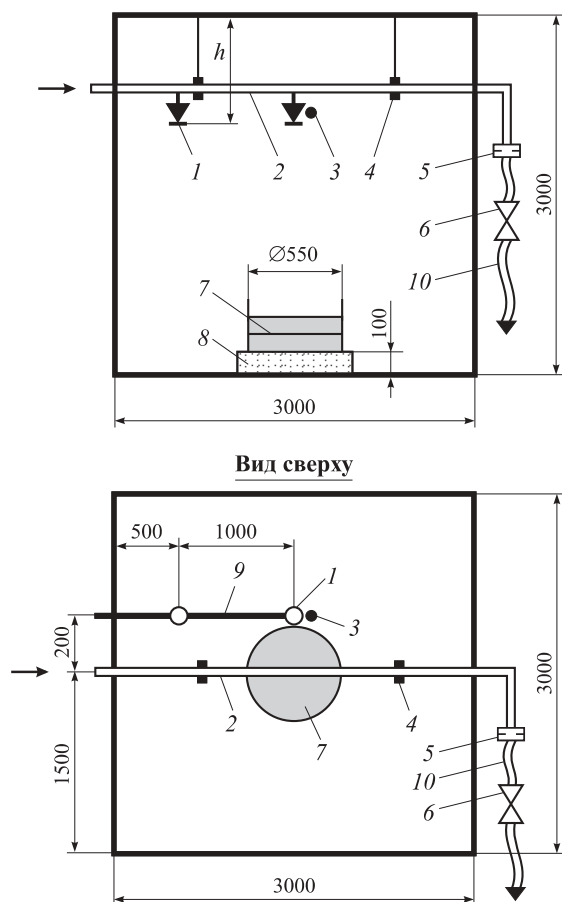


Рис. 5. Схема стенда для испытаний на пожаростойкость с расходом воды: *1* — спринклерный ороситель; *2* — испытываемая труба (рабочая длина ~3 м); *3* — термопреобразователь; *4* — подвеска; *5* — диафрагма; *6* — кран; *7* — модельный очаг пожара; *8* — подставка; *9* — металлическая труба со смонтированными спринклерными оросителями *1*; *10* — гибкий рукав; *h* — расстояние от потолка до розетки оросителя

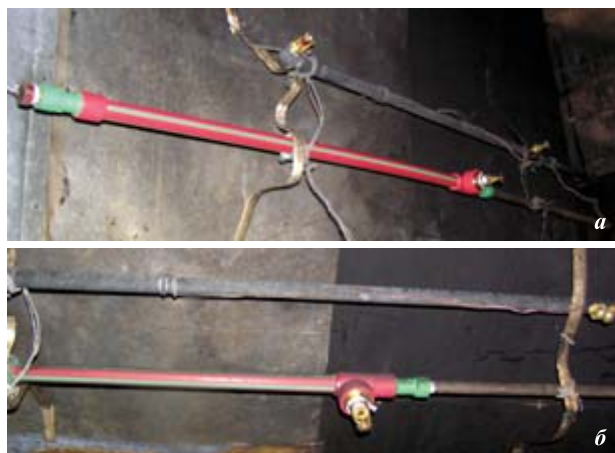


Рис. 6. Состояние трубы диаметром 32 мм с установленным на нем спринклерным оросителем до (а) и после (б) испытания при максимальной температуре пожара 190–230 °С

мещения (причем с обязательным указанием параметров вентилирования, поскольку они существенно влияют на процесс прогрева испытываемой трубы);

- ограниченная область применения — только для водозаполненных труб спринклерных АУП; не предусмотрены испытания не заполненных водой труб и труб, находящихся под пневматическим давлением (последнее необходимо для проверки неметаллических труб или гибких металлических труб, используемых в воздушных спринклерных установках пожаротушения);
- сложность монтажа трубы на высоте.

Стенд для испытаний на пожаростойкость в практически неограниченном по объему помещении представлен на рис. 7. На высоте 3 м относительно пола расположен выполняющий роль подвесного потолка металлический навес размером 5,12×4,00 м, выполненный из гофрированных стальных листов, уложенных на металлические горизонтальные опоры.



Рис. 7. Общий вид испытательного стенда для испытаний труб на пожаростойкость в помещении практически неограниченного объема

При испытаниях могут одновременно тестироваться несколько трубопроводов различного типа и/или номинального диаметра. В качестве оросителей используются спринклерные оросители с номинальной температурой срабатывания 68 °С и диаметром термочувствительной колбы 5 мм или распылители с номинальной температурой срабатывания 68 °С и диаметром термочувствительной колбы 3 мм. Оросители устанавливают на центральный испытываемый трубопровод. Расстояние между подвесками-хомутами соответствует данным производителя труб. Расстояние между оросителями (распылителями) во всех испытаниях составляет 3 м. Давление воды подбирается таким образом, чтобы расход через диктующий ороситель составлял 3 л/с, а через распылитель — 0,2 л/с.

В качестве МОП используются два типоразмера противней: 13В диаметром (750±10) мм или 34В диаметром (1170±10) мм — с площадью горения соответственно 0,44 и 1,07 м². Горючее — бензин А-80 объемом 15 или 30 л. МОП располагается в центре стенда как на подставке, так и на бетонном полу. Расстояние от начального уровня горючего МОП до навеса составляет соответственно 2,5 или 3,0 м.

Момент срабатывания спринклерных оросителей Оп1 и Оп2 (распылителей Р1 и Р2), нарушения целостности трубы или разрушения фитингов определяют визуально или по резкому снижению давления. Если не происходит нарушения целостности испытываемой трубы, то подачу воды осуществляют до полного прекращения горения.

Критерием положительной оценки каждого испытания является отсутствие потери целостности испытываемых трубопроводов и фитингов, а также неизменность ориентации оросителей в пространстве. Испытания труб на пожаростойкость представлены на рис. 8–11.

К недостаткам данной методики испытаний на пожаростойкость следует отнести ограниченную область применения ввиду высокой стоимости здания, сложность монтажа трубы на высоте и большой расход горючего для МОП.

Для проверки пожаростойкости труб, предназначенных для эксплуатации в зоне высоких температур и способных противостоять воздействию пожара при температуре окружающей среды более 500 °С, предназначен стенд, приведенный на рис. 12,а. К таким трубам относятся композитные и теплоизолированные трубы с защитным металлическим экраном.

Испытываемую трубу устанавливают на ложементы. Нагревание трубы проводят открытым пламенем МОП диаметром 180 мм, заполненного 2 л гептана. Испытательное давление — 1,2 МПа, температура пламени у нижней поверхности трубы непосредственно под МОП — около 900 °С. Критери-

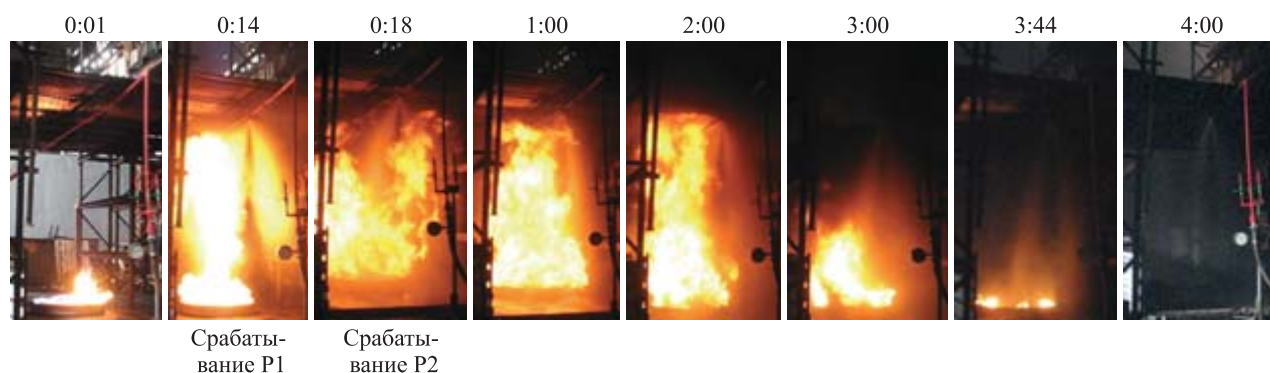


Рис. 8. Испытание на пожаростойкость трубы DN 20: распылители “Аквамастер-5”, установленные розеткой вниз; диаметр МОП — 1170 мм; расстояние от розетки оросителя до МОП — 2750 мм; объем бензина — 15 л; результат испытаний положительный

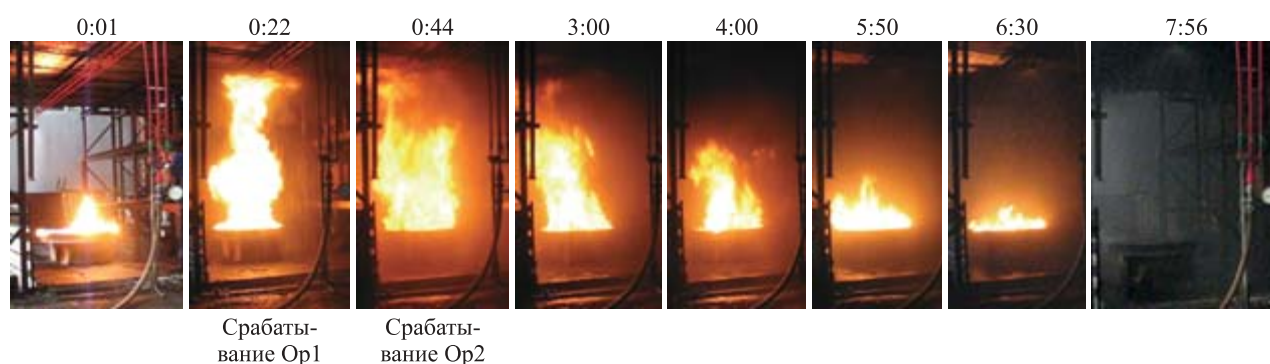


Рис. 9. Испытание на пожаростойкость труб DN 10, DN 15 и DN 20: оросители СВН-12, установленные розеткой вниз; диаметр МОП — 1170 мм; расстояние от розетки оросителя до МОП — 2250 мм; объем бензина — 15 л; труба DN 10 испытание не выдержала; для труб DN 15 и DN 20 результат положительный

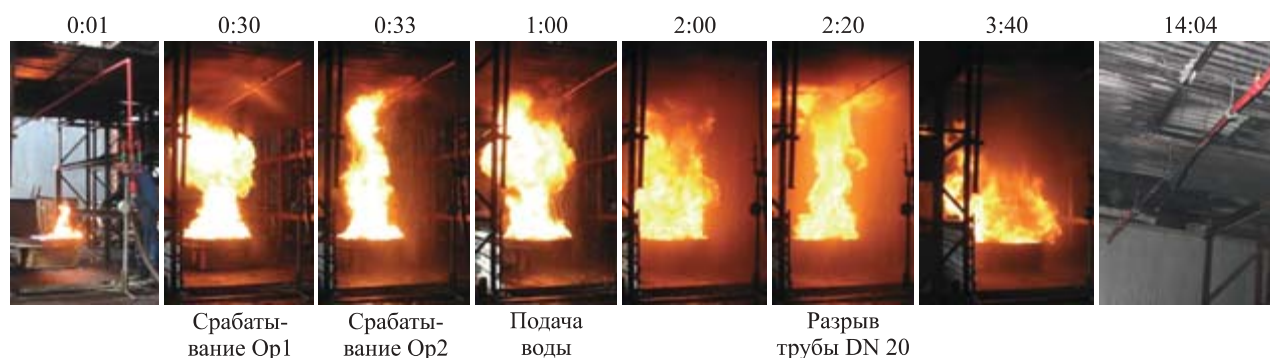


Рис. 10. Испытание на пожаростойкость трубы DN 20: оросители СВВ-12, установленные розеткой вниз; диаметр МОП — 1170 мм; расстояние от розетки оросителя до МОП — 2250 мм; объем бензина — 30 л; подача воды — с задержкой 30 с после срабатывания оросителя Op1; труба испытание не выдержала



Рис. 11. Состояние труб после различных режимов испытания; а — труба покрыта слоем гари; б — труба имеет мелкие прорывы; в — разрыв трубы; г — труба частично расплавилась и разрушилась



Рис. 12. Стенд для испытаний композитных труб (а) и состояние композитной трубы после испытаний (б)

ем пожаростойкости является сохранение герметичности трубы. Пожаростойкость характеризуется временем, в течение которого она сохраняется. Изменение качества и формы поверхности трубы не является признаком ее неисправности.

Состояние композитной трубы DN 50 длиной 3 м после испытаний на пожаростойкость представлено на рис. 12, б. Время разрушения трубы (протечка) составляет 630–680 с при общей продолжительности горения МОП примерно 15 мин.

Данный стенд по сравнению со стендами, описанными ранее в [11], имеет ряд преимуществ:

- удобство при обслуживании;
- возможность наблюдения за состоянием трубы в процессе испытания;
- отсутствие затрат на строительную часть.

3. Зарубежные методики испытаний на пожаростойкость

За рубежом в основном используют два способа испытания труб на пожаростойкость (Fire Exposure Test) (примерные аналоги отечественных испытаний на пожаростойкость [11]) — в помещении ограниченного объема и на стендовом оборудовании, когда МОП находится в непосредственной близости от испытываемой трубы.

В соответствии с [33] испытания термопластиковых трубопроводов спринклерных АУП на пожаростойкость проводят в помещении объемом 65 м³

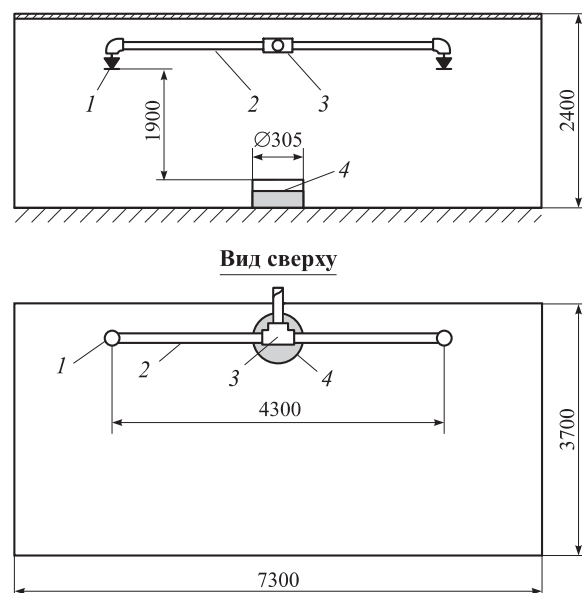


Рис. 13. Схема испытательного стенда при монтаже испытываемой трубы вдоль стены помещения [33]: 1 — спринклерный ороситель; 2 — испытываемый трубопровод; 3 — тройник; 4 — МОП

(7,32×3,66×2,44) м, причем предусматривается два вида монтажа испытываемой трубы — вдоль стены помещения и посередине помещения.

На рис. 13 приведена схема испытательного стенда при монтаже испытываемой трубы вдоль стены помещения, стены и потолок которого выполнены из гипсокартона толщиной $\delta \sim 12$ мм. Общая длина испытываемого трубопровода — около 4,3 м. По концам трубопровода установлены спринклерные оросители с диаметром колбы 3 или 5 мм. Расстояние от МОП до розетки оросителя примерно 1,9 м и от розетки до потолка — не более 305 мм. Тип и характеристики спринклерных оросителей: коэффициент производительности, быстродействие, т. е. диаметр колбы, номинальную температуру срабатывания (57, 68 °С и т. д.), конструктивные особенности, их гидравлические параметры и рабочее положение при огневых испытаниях принимают согласно проекту и рекомендациям, приведенным в технической документации на эти оросители.

Испытания проводят в два этапа: при низком уровне гидравлического давления от 0,69 до 0,83 МПа и при максимальном рабочем давлении. МОП (квадратный стальной противень площадью 0,46 м², заполненный 23,7 л гептана) располагают на полу помещения посередине испытываемой трубы (под тройником). После поджигания МОП и по достижении определенной температуры, зависящей от номинальной температуры срабатывания спринклерных оросителей, они активируются (примерно через 1 мин), и происходит распространение водяного потока внутри помещения и, как следствие, снижение температуры и вокруг трубы, и внутри помещения. После

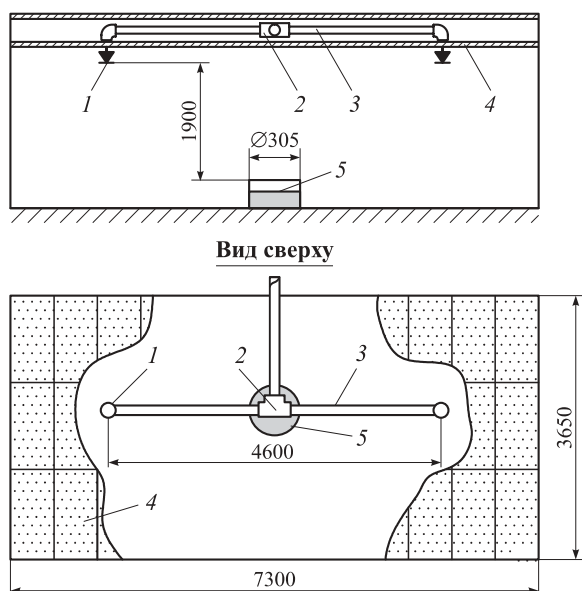


Рис. 14. Схема испытательного стенда с монтажом испытываемых труб за подвесным потолком [33]: 1 — спринклерный ороситель; 2 — тройник; 3 — испытываемый трубопровод; 4 — подвесной потолок; 5 — МОП

срабатывания каждого спринклерного оросителя должен поддерживаться расход не более 1,41 л/с на один ороситель. В процессе испытаний контролируется расход и давление воды в трубе. Через 10 мин с момента срабатывания первого оросителя МОП должен быть потушен, но подачу воды после этого следует прекращать не ранее чем через 5 мин.

Согласно [33], если проектом предусмотрена скрытая трубопроводная сеть, трубы должны испытываться в аналогичном скрытом положении. Испытания на пожаростойкость трубопроводной системы, смонтированной, например, за подвесным потолком, проводят в помещении, схема которого представлена на рис. 14. В этом случае МОП располагают на полу посередине помещения под центром испытываемой трубы, т. е. под тройником, а расстояние между оросителями принимают равным порядка 4,6 м.

Подвесной потолок выполнен из гипсокартона. Если по проекту подвесной потолок монтируется из другого материала, уступающего по пожаростойкости гипсокартону, то испытания должны проводиться с подвесным потолком, указанным в проекте.

Критерием положительного результата испытаний является сохранение целостности трубы (отсутствие разрывов или протечек) при ее последующем испытании на максимальное рабочее гидростатическое давление в течение не менее 5 мин.

К недостаткам данного способа огневого воздействия на трубу и устройства для его реализации следует отнести следующее:

- испытания привязаны к конкретному проекту;

- непродолжительный период нахождения трубы под воздействием повышенной температуры окружающей среды;
- незначительное повышение температуры нагретого воздуха в окрестности трубы до значений, соизмеримых с допустимой рабочей температурой трубы ($\sim 90^\circ\text{C}$);
- орошение водой (а следовательно, охлаждение окружающего пространства и экранирование испытываемой трубы от тепловых потоков) начинается при срабатывании спринклерного оросителя, т. е. через короткое время после поджигания модельного очага пожара;
- ограниченное значение давления воды (не более 0,83 МПа);
- необходимость использования для испытаний специального огнестойкого вентилируемого помещения (причем параметры вентилирования не указаны, хотя они существенно влияют на процесс прогрева испытываемой трубы);
- сложность монтажа трубы на высоте;
- ограниченная область применения — только для водозаполненных труб спринклерных автоматических установок пожаротушения;
- не предусмотрено испытаний не заполненных водой труб и труб, находящихся под пневматическим давлением.

Испытания термопластиковых труб и фитингов на пожаростойкость спринклерных АУП [34] (примерный аналог отечественных испытаний на пожаростойкость [11]) проводят в вентилируемом помещении размером $4 \times 4 \times 2,8$ м (объем $\sim 44,8 \text{ м}^3$), внутри которого могут быть смонтированы два варианта трубопроводов с номинальным диаметром DN 40 (рис. 15):

- Г-образная трубопроводная сборка общей длиной порядка 4 м;
- то же, с подсоединением тупикового участка длиной около 1,6 м.

На конце Г-образной трубопроводной сборки установлен розеткой вниз спринклерный быстросрабатывающий ороситель (термочувствительная колба диаметром 3 мм) с номинальной температурой срабатывания 68°C и коэффициентом производительности $K_{LPS} \sim 80 \text{ л}/(\text{мин} \cdot \text{бар}^{0,5})$, что соответствует российскому $K_{RF} \sim 0,42 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^{0,5})$.

Перед огневыми испытаниями проводится опрессовка трубопроводной сборки гидравлическим давлением, соответствующим максимальному рабочему $\pm 0,05 \text{ МПа}$ (т. е. $(P_{\text{макс.раб}} \pm 0,05) \text{ МПа}$), в течение 10^{+1} мин.

МОП типа 13В ($\text{Ø}700 \text{ мм}$) располагают на полу помещения под тройником. В качестве горючего используют 10 л гептана.

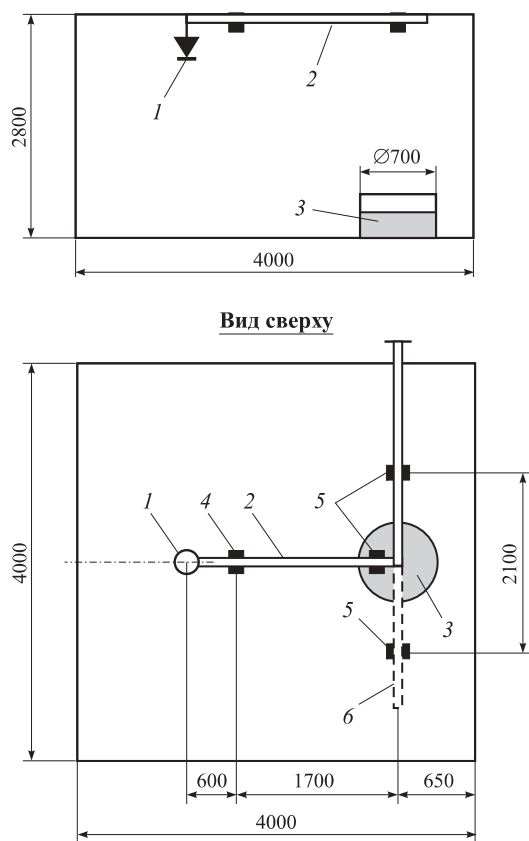


Рис. 15. Схема испытательного стенда [34]: 1 — спринклерный ороситель; 2 — испытываемый трубопровод; 3 — МОП; 4 — жесткая подвеска; 5 — скользящая подвеска; 6 — тупиковый участок испытываемого трубопровода

По достижении определенной температуры, зависящей от инерционности и номинальной температуры срабатывания спринклерного оросителя, последний активируется, в результате чего происходит распространение водяного потока внутри помещения. Расход спринклерного оросителя составляет $(0,78 \pm 0,05)$ л/с. Как только гептан выгорит, расход воды увеличивают до 1,67 л/мин в течение последующих 10^{+1} мин. Испытания проводят на каждом варианте трубопроводной сборки.

После огневого воздействия трубопроводная сборка должна выдерживать внутреннее гидростатическое давление, равное максимальному рабочему давлению $+0,1$ МПа, т. е. $(P_{\text{макс.раб}}^{+0,1})$ МПа.

Критерием положительного результата испытаний является отсутствие протечки или разрушения трубы и сохранение ее целостности при последующем испытании на рабочее давление.

Данному способу огневого воздействия на трубы присущи все недостатки способа огневого воздействия, описанного в [33].

Наиболее жесткие условия стендовых испытаний труб на пожаростойкость реализуются по методам, изложенным в ASTM F 1173 [35] и IMO A.753(18) [36, 37] для судовых трубопроводов, пред-



Рис. 16. Стенд для испытаний труб, изготовленных из композитных материалов [35–37]

назначенных для транспортировки горючих жидкостей. Предусмотрено два вида испытаний: на трубе, находящейся под давлением азота $(0,07 \pm 0,01)$ МПа, и на трубе, заполненной водой под давлением $(0,30 \pm 0,05)$ МПа.

Испытываемую трубу, изготовленную из композитных материалов (стеклоткани, обработанной терморезактивной смолой или экранированной теплозащитным материалом и защитной металлической оболочкой), устанавливают на ложементы (рис. 16). Расстояние между ложементами при испытании под давлением азота должно составлять $L \geq 8DN$, а под гидравлическим давлением — $(0,80 \pm 0,05)$ м. В качестве МОП используются 20 пропановых горелок, установленных в четыре ряда (расход газа до 10 кг/ч) и обеспечивающих плотность теплового потока $113,6$ кВт/м². Максимальная температура на внешней стороне трубы или теплозащитного экрана в процессе испытаний составляет порядка 1100 °С. Продолжительность испытаний — от 30 до 60 мин.

Критерием положительного результата испытаний является отсутствие протечки во время огневого воздействия и сохранение целостности при последующем испытании под гидравлическим давлением $1,55$ МПа в течение 15 мин (допускается утечка $0,2$ л/мин).

К недостаткам данного способа огневого воздействия на трубы следует отнести следующее:

- низкое давление в трубе в процессе огневых испытаний: находящейся под давлением азота — $(0,07 \pm 0,01)$ МПа; заполненной водой под давлением — $(0,30 \pm 0,05)$ МПа;
- неравномерное температурное поле вокруг трубы (вдоль и поперек): основной высокотемпературный поток газовых горелок воздействует в основном на нижнюю среднюю область испытываемой трубы, защищенной теплозащитным экраном; температура на поверхности трубы различается как снизу и сверху, так и от ее середины к краям;

- функционирование стенда не автоматизировано: фиксация возможных протечек осуществляется визуально (при огневых испытаниях труб с экранированным теплозащитным материалом и защитной металлической оболочкой практически невозможно установить начало наступления разгерметизации).

4. Обоснование основных положений методики испытаний труб на пожаростойкость

Использование неметаллических трубопроводов в водяных и пенных АУП и результаты огневых испытаний труб, изготовленных из различных материалов, рассмотрены в [38–41].

Анализ различных способов испытаний на пожаростойкость свидетельствует о том, что они существенно отличаются от способов испытаний на воспламеняемость, горючесть и огнестойкость, и не только методическими положениями, но и конструктивным оформлением стендового оборудования и номенклатурой измерительных комплексов. Необходимость разработки новой методики испытаний на пожаростойкость вызвана как несовершенством существующих методов, так и отсутствием инженерных методов расчета пожаростойкости применительно к конкретному защищаемому объекту.

В основном достаточно полно разработана теория защиты от теплопотерь в окружающее пространство рабочей среды трубопроводов за счет тепловой изоляции вокруг трубы. Упор на проведение огневых испытаний на пожаростойкость прежде всего связан с крайне редкими теоретическими исследованиями по передаче тепла неметаллическим трубам в процессе нестационарного развития пожара с учетом теплофизических параметров как продуктов горения, так и собственно материала трубы [42].

Пожаростойкость (ПС) труб можно рассматривать как функцию совокупности множества факторов, характеризующих не только массоразмерные и теплофизические характеристики собственно трубы, но и геометрические и теплофизические параметры помещения, а также находящуюся в нем пожарную нагрузку и режимы испытания:

$$ПС = f(z, T_p, T_{ном}, Q, P, Z),$$

где z — массоразмерные и теплофизические характеристики трубы;

T_p — температура окружающей трубу среды;

$T_{ном}$ — номинальная температура срабатывания спринклерного оросителя (или время срабатывания дренчерной АУП в методах испытаний, приведенных в [11, 33, 34];

Q — тепловая мощность пожарной нагрузки;

P — гидравлическое давление;

Z — совокупность геометрических и теплофизических параметров помещения.

Как же реализуется в действующих методах испытаний [11, 33–37] приведенный выше массив исходных параметров?

Сравнительная оценка показателей испытательных стендов, условий проведения огневых испытаний и контролируемых параметров, используемых при тестировании незащищенных и защищенных неметаллических труб и гибких металлических труб на пожаростойкость, представлена в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 свидетельствует о том, что:

- существующие методы испытаний труб на пожаростойкость привязаны к вполне определенным показателям: продолжительности испытаний, температуре окружающей среды, рабочему давлению внутри трубы и расходу через ороситель или через трубу (в приведенных методиках огневых испытаний труб на пожаростойкость эти показатели, как правило, имеют фиксированные значения);
- трубы разных диаметров, но изготовленные из одного и того же материала, и трубы различных производителей, прошедшие испытания по любой одной и той же методике, имеют практически одинаковую оценку пожаростойкости. При этом возникают естественные вопросы:
- если для АУП потребуется более высокое давление, выдержит ли труба это давление при испытаниях;
- если в реальных условиях температура в зоне трубы будет несколько выше, чем при испытаниях, как это скажется на пожаростойкости?

Таким образом, оценить потенциальную пожаростойкость труб, прошедших испытания по действующим методам, не представляется возможным. В общем случае результаты испытаний на пожаростойкость должны дать ответ о допустимости использования тех или иных труб в различных условиях производства. Если ранжировать трубы по степени их пожаростойкости, то таким образом можно было бы разграничить область их использования [10], увязав их применение, например, с интенсивностью теплового воздействия на трубу, или с мощностью пожарной нагрузки, или с группой помещений по СП 5.13130.2009 [9] (аналогично тому, как, например, классифицируют строительные материалы по группам воспламеняемости (В1–В3), распространению пламени (РП1–РП4), горючести (НГ, Г1–Г4) или огнестойкости (REI)).

В то же время основные предполагаемые параметры (продолжительность испытаний, температура и давление) не зависят от группы помещения, так

Таблица 3. Показатели различных методов испытаний [11, 33–37]

Показатель	Методики					
	UL 1821 [33] (рис. 13, 14)	LPS 1260-2 [34] (рис. 15)	F 1173 [35] A 753(18) [36, 37] (рис. 16)	ВНИИПО [11] (рис. 2–6)	ВНИИПО [11] (рис. 7–11)	ВНИИПО (рис. 12)
Размер помещения: — объем, м ³ — $L \times B \times H$, м	65 7,4×3,7×2,4	44,8 4,0×4,0×2,8	Не ограничен	27 3×3×3	Не ограничен Навес 5,1×4,0, $H = 12$ м (высота подвес- ного потолка $h = 3$ м)	Не огра- ничен
МОП: — вид горючего — объем горючего, л — диаметр (сторона), мм — площадь горения, м ²	Гептан 23,7 680×680 0,46	Гептан 10 Ø700 (13В) 0,38	Пропан, 20 горелок (расход 10 кг/ч)	Пентан* 5,5 Ø550 0,24	Бензин А-80 15; 30 Ø750; Ø1170 0,44; 1,07	Гептан 2 Ø180 0,025
Давление, МПа: — пневматическое — гидравлическое	— 0,69–0,83	— $P_{\text{раб}}$	0,07 0,3	— 0,6–1,0	— 0,5; 0,8**	— 1,2
Температура, °С	~100**	> 100**	1100	190–500	~900	
Общая продолжитель- ность испытаний, мин	16	После выго- рания МОП + + 10 мин	30; 60	5–8	4,0–7,5	15
Диаметр труб DN	36 (25)	40	25–250	20–150	20–65	20–65
Расстояние от МОП до трубы, м	1,9	2,5	0,125	2,75–2,85	2,2; 2,7	500
Продолжительность пода- чи ОТВ из оросителя, мин	15	До выгорания МОП + 10 мин	—	До прекращения горения МОП		—
Время до начала расхода ОТВ из трубы, с	—	—	—	60	—	—
Расход одного оросителя (распылителя), л/с	1,41	0,78	—	0,9*** (при $P = 0,05$ МПа)	2,50 (0,63)	—
Расход ОТВ через трубу (без оросителя), л/с	—	—	—	0,18	—	—
Пожаростойкость, мин	~11	30; 60	30; 60	5	До потери герметичности	

* Наряду с пентаном допускается использование гептана и бензина.

** Значение параметра не регламентировано (приведенные сведения получены по результатам анализа условий испытаний).

*** МОП защищен от прямого воздействия распыленного водяного потока.

как в каждой группе температура в месте размещения трубы может иметь в *равные* промежутки времени одно и то же значение: все зависит в основном от высоты помещения, интенсивности теплового потока, воздействующего на трубу, и взаимного расположения этой трубы и пожарной нагрузки. Например, в реальных условиях при более высокой пожарной нагрузке в помещении группы 4 температура в зоне расположения трубы длительное время может быть меньше, чем в помещении группы 1.

Состояние питающих и распределительных трубопроводов водяных АУП в процессе эксплуатации

зависит от их режима работы (дежурный или рабочий) и вида АУП (спринклерная водозаполненная или спринклерная воздушная под давлением или без давления [43], дренчерная традиционная или дренчерная быстродействующая [44]). Методика испытания неметаллических и гибких металлических труб должна предусматривать возможность проверки пожаростойкости для всех вышеперечисленных режимов функционирования водяных АУП. Взаимосвязь режимов работы водяных АУП, состояния трубы в процессе испытания и параметров испытания (без расхода и с расходом воды) показана в табл. 4.

Таблица 4. Параметры состояния трубы на период испытания без расхода воды

Тип АУП	Режим функционирования АУП до срабатывания	Состояние трубы в процессе эксплуатации	Параметры на период испытания без расхода воды
Водозаполненные спринклерные АУП	Дежурный	Заполнена водой; находится под гидравлическим давлением; расход отсутствует	$t \geq \tau_{\text{раз}};$ $Q = 0; P_{\text{г}}$
	Рабочий	Заполнена водой; находится под гидравлическим давлением; расход начинается после срабатывания спринклерного оросителя	$t = \tau_{\text{р}};$ $Q = 0; P_{\text{г}}$
Традиционные воздушные спринклерные АУП	Дежурный	Водой не заполнена; находится под пневматическим давлением; расход отсутствует	$t \geq \tau_{\text{раз}};$ $Q = 0; P_{\text{п}}$
Воздушные спринклерные АУП-ПП [43]	Дежурный	Водой не заполнена; избыточное давление отсутствует; расход отсутствует	$t \geq \tau_{\text{раз}};$ $Q = 0; P_{\text{а}}$
Воздушные спринклерные АУП всех видов	Рабочий	Заполнена водой; находится под гидравлическим давлением; расход начинается после срабатывания спринклерного оросителя	$t = \tau_{\text{р}};$ $Q = 0; P_{\text{г}}$
Традиционные дренчерные АУП	Дежурный	Водой не заполнена; избыточное давление отсутствует; расход отсутствует	$t \geq \tau_{\text{раз}};$ $Q = 0; P_{\text{а}}$
Быстродействующие дренчерные АУП [44]	Дежурный	Заполнена водой; избыточное давление отсутствует; расход отсутствует	$t \geq \tau_{\text{раз}};$ $Q = 0; P_{\text{а}}$
Дренчерные АУП всех видов	Рабочий	Заполнена водой; находится под гидравлическим давлением; расход начинается после срабатывания АУП	$t = \tau_{\text{р}};$ $Q = 0; P_{\text{г}}$

Примечание. АУП-ПП — АУП с принудительным пуском; Q — расход; $P_{\text{а}}$ — атмосферное давление; $P_{\text{п}}$ — пневматическое давление, $P_{\text{п}} = 0,2$ МПа; $P_{\text{г}}$ — гидравлическое давление; t — продолжительность испытания; $\tau_{\text{раз}}$ — время испытаний до разгерметизации трубы; $\tau_{\text{р}}$ — время начала расхода воды.

В реальных условиях после срабатывания АУП по трубе начинается расход воды и, следовательно, независимо от режима ее функционирования до срабатывания номенклатура параметров испытания должна быть дополнена временем начала расхода воды $\tau_{\text{р}}$, расходом воды Q и гидравлическим давлением $P_{\text{г}}$.

В процессе многочисленных сертификационных испытаний труб на пожаростойкость отмечено, что трубы минимального диаметра при одних и тех же условиях испытаний обладают меньшей стойкостью, чем трубы из аналогичного материала, но большего диаметра. Подобное явление объясняется тем, что чем больше диаметр, тем толще стенки трубы. А чем больше толщина стенок, тем дольше труба, находящаяся под гидравлической нагрузкой, может противостоять высокотемпературным потокам пожара. Следовательно, если за пожаростойкость принять фиксированное значение продолжительности испытаний, то более высокая стойкость труб большего диаметра никак не учитывалась бы. Кроме того, в этом случае вообще нельзя было бы оценить продолжительность пожаростойкости трубы в квазиреальных условиях пожара. В связи с этим в методике испытаний продолжительность испытаний, а следовательно, и пожаростойкость, целесообразно определять не по принятому фиксированному времени, а по времени до потери герметичности трубы.

При разработке методики испытаний на пожаростойкость труб необходимо ответить на следующие вопросы:

- должны ли эти исходные параметры иметь только по одному фиксированному значению либо ограниченное или неограниченное число значений;
- должны ли значения этих параметров строго регламентироваться методикой испытаний или назначаться изготовителем трубы;
- должны ли эти параметры зависеть от возможных реальных условий эксплуатации?

С учетом накопленного опыта и методических положений, изложенных в [11, 20, 21, 35–37], целесообразно:

- выбирать температуру испытания (300 ± 30) или (500 ± 50) °С (причем конкретное значение предлагает изготовитель труб);
- относительно общей продолжительности испытания придерживаться одного принципа, согласно которому собственно пожаростойкость определяется продолжительностью сохранения целостности трубы до ее разгерметизации $\tau_{\text{раз}}$ (нормативное значение пожаростойкости должно быть не менее 5 мин, в ином случае труба считается не выдержавшей испытания);
- относительно продолжительности нарастания температуры до квазипостоянного значения придерживаться одной величины — $t_{\text{нар}} = (60 \pm 10)$ с

(при этом $t = t_{\text{нап}} + t_{\text{const}}$, где t_{const} — продолжительность испытания при квазипостоянном значении температуры до разгерметизации трубы);

- при выборе вида давления (гидравлическое либо пневматическое) иметь в виду, что методически принимаются оба вида, причем конкретный вид или оба вида предлагает изготовитель труб;
- установить гидравлическое давление, причем конкретное значение предлагает изготовитель труб (при этом минимальное гидравлическое значение должно быть не менее 1 МПа, а другие значения — соответствовать ГОСТ 26349–84 [45], например 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,5 и т. д.);
- пневматическое давление принимать применительно к дежурному режиму АУП: для дренчерных и спринклерных с принудительным пуском — $P_{\text{воз}} = (0,05 \pm 0,01)$ МПа, для спринклерных — $P_{\text{воз}} = (0,25 \pm 0,05)$ МПа;
- продолжительность задержки от начала испытания до начала расхода, которая представляет собой время срабатывания спринклерного оросителя или время начала орошения при срабатывании дренчерной АУП в конкретных производственных обстоятельствах, принимать равной ~5 мин;
- расход через трубу применительно к реальной АУП принимать равным минимальному расходу оросителя ($1,0 \pm 0,1$) л/с или распылителя — ($0,20 \pm 0,02$) л/с.

Помимо всего прочего, следует учитывать, что в реальных условиях при нагревании трубы во время пожара за счет ее деформации может измениться ориентация оси оросителя относительно исходного положения. Взаимное угловое изменение по двум координатам наиболее заметно может проявиться тогда, когда ороситель закреплен на конце трубы. В этом случае чем длиннее консоль, тем больше угол поворота. Например, при отклонении оси оросителя по вертикальной плоскости всего на 5° от исходного положения смещение эпицентра орошаемого оросителем пятна (при пренебрежении гравитационными силами) составит примерно:

- при высоте оросителя 10 м — почти 0,9 м;
- при высоте оросителя 15 м — примерно 1,3 м.

В связи с этим по результатам испытаний должна быть дана также оценка характера изменения ориентации оси оросителя (или распылителя) в зависимости от его массы, длины консоли и способа крепления трубы (скользящий или жесткий).

Вместе с тем номенклатура параметров, характеризующих пожаростойкость, и количество их фиксированных значений должны быть ограничены. Пожаростойкость конкретной трубы, являясь интегральным многофакторным параметром, должна характеризоваться прежде всего продолжительностью

испытания до потери герметичности (разгерметизации) трубы, но не менее определенного фиксированного значения. Непременными параметрами, позволяющими установить возможность применения неметаллических труб на пожароопасных объектах, являются также температура испытаний, гидравлическое или пневматическое давление.

Таким образом, соответствующие режимы испытаний конкретной трубы можно задать как функцию:

$$ПС = f(t, \psi, T, P),$$

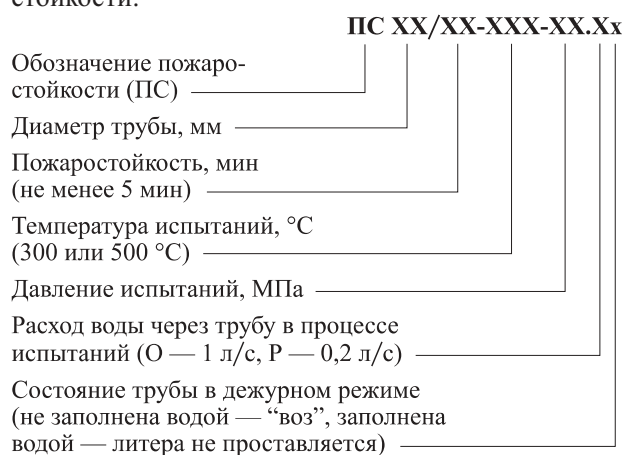
где t — продолжительность испытания (представляет собой время испытания до разгерметизации трубы $\tau_{\text{раз}}$, но не менее фиксированного, достаточно продолжительного времени τ);

ψ — параметр рабочего тела трубы (заполнена водой или воздухом);

T — заданная температура при квазиустановившемся режиме испытаний;

P — давление в трубе.

Поскольку принятые в настоящее время оценки пожаростойкости не позволяют выявить преимущество одних труб перед другими, для их сравнительной оценки предлагается использовать комплекс показателей, представленный в обозначении пожаростойкости:



Например: ПС 25/5,5-500-1,6.О;
ПС 63/6-300-1,0.Рвоз.

Таким образом, пожаростойкость одной и той же трубы одного и того же типоразмера может быть различной в зависимости от режимов испытаний и ее диаметра. Подобная информация, приведенная в паспорте на трубу, позволит проектировщику сделать обоснованный выбор конкретного типа трубы для конкретных условий производства из широкого ассортимента труб различных производителей.

Испытываемая трубопроводная сборка может иметь несколько модификаций, предлагаемых производителем труб и согласованных с органом по сертификации (рис. 17):

- с торцевыми технологическими фитингами;

- с торцевыми технологическими фитингами и несколькими фитингами вдоль трубы;
- с одним торцевым технологическим фитингом и с тройником на противоположном конце трубы, в котором монтируется ороситель, герметизированный от испытываемой трубы шайбой.

Трубопроводная сборка, показанная на рис. 17,а, предназначена для тестирования пожаростойкости собственно трубы, на рис. 17,б — для тестирования пожаростойкости фитингов различной конструкции (гильза, тройники с наружной и внутренней резьбой, кран, вварное седло, заглушка и т. п.), на рис. 17,в — для тестирования изменения степени ориентации оросителя относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей. В качестве оросителя используют дренчерный ороситель, конструкция которого соответствует дренчерным или спринклерным оросителям максимальной массы, которые предполагается использовать в составе распределительной сети АУП, выполненной на базе испытываемых труб. Монтаж дренчерного оросителя осуществляется в уголок с внутренней резьбой (см. рис. 17,в). Для герметизации места соединения оросителя с уголком трубопроводной сборки используется шайба (на рис. 17 не показана).

По предложению производителя и при согласовании с органом по сертификации при испытаниях на пожаростойкость могут быть предложены и иные трубопроводные сборки.

В проекте методики испытаний на пожаростойкость “ГОСТ Р. Автоматические установки пожаротушения. Трубы и фитинги из неметаллических материалов. Методы испытаний” (далее — Проект

ГОСТ Р) предлагается тестирование труб проводить в два этапа, причем второй этап — на новых аналогичных трубах и только в том случае, если предыдущие трубы выдержали испытания на пожаростойкость на первом этапе:

- *этап 1:* режимы испытаний на всем протяжении тестирования соответствуют предполагаемым режимам эксплуатации труб в дежурном режиме без расхода воды; положительный критерий испытаний — $ПС \geq 5$ мин; испытание продолжается до разгерметизации трубы — $ПС \leq 30$ мин;
- *этап 2:* режимы испытаний, проводимых в течение $(5,0 \pm 0,1)$ мин, соответствуют предполагаемым режимам эксплуатации труб в дежурном режиме без расхода воды, а затем — режимам эксплуатации труб в рабочем режиме с расходом воды $(1,0 \pm 0,1)$ л/с, если на трубе будут монтироваться оросители, или $(0,20 \pm 0,02)$ л/с, если на трубе будут монтироваться распылители; положительный критерий испытаний — сохранение целостности трубы не менее 10 мин; испытание продолжается до разгерметизации трубы, но не более 35 мин с начала испытания.

За численное значение пожаростойкости принимается время с начала испытания до разгерметизации трубы, зафиксированное в испытаниях на первом этапе. Второй этап испытаний необходим только для проверки герметичности трубы при подаче в нее воды под давлением, поэтому им подвергаются исключительно трубы всех видов спринклерных воздушных и дренчерных АУП и не подвергаются трубы спринклерных водозаполненных АУП. Количество испытываемых труб одного типоразмера на каждом режиме испытаний — не менее двух.

5. Стенд для испытаний труб на пожаростойкость

Структурная схема стенда, предназначенного для проведения испытаний труб на пожаростойкость по методам Проекта ГОСТ Р, представлена на рис. 18.

Перед проведением огневых испытаний трубопроводные сборки следует подвергнуть испытаниям на прочность и герметичность под гидравлическим давлением $P_{исп} = 1,5P_{раб}$, где $P_{исп}$, $P_{раб}$ — соответственно испытательное и рабочее давление.

При проведении первого этапа испытаний предусмотрено четыре режима функционирования:

- с заполненной водой трубой при отсутствии давления;
- с заполненной водой трубой при наличии давления;
- с не заполненной водой трубой при практическом отсутствии пневматического давления;
- с не заполненной водой трубой при наличии пневматического давления.

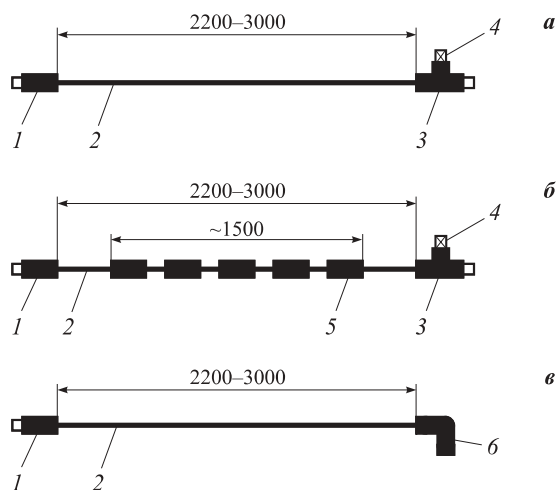


Рис. 17. Модификации испытываемых трубопроводных сборок: а — с торцевыми технологическими фитингами; б — с торцевыми технологическими фитингами и несколькими фитингами вдоль трубы; в — с одним торцевым технологическим фитингом и тройником; 1 — муфта с наружной резьбой; 2 — испытываемая труба; 3 — тройник; 4 — резьбовая заглушка; 5 — фитинги различной конструкции; 6 — уголок с внутренней резьбой

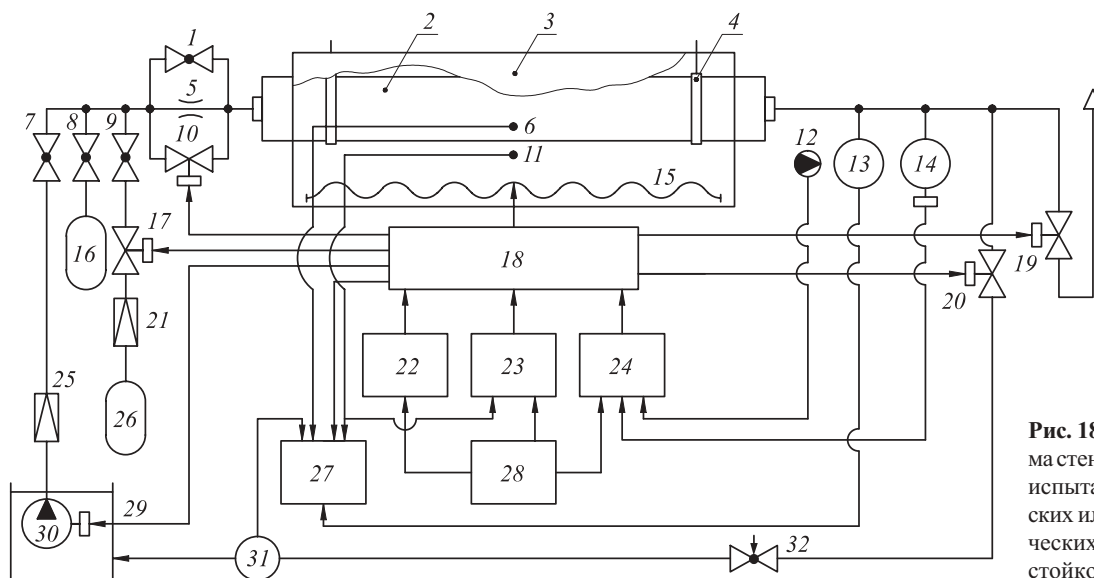


Рис. 18. Структурная схема стенда для проведения испытаний неметаллических или гибких металлических труб на пожаростойкость

На втором этапе испытаний тестирование аналогичных труб проводят с расходом воды $(0,20 \pm 0,02)$ или $(1,0 \pm 0,1)$ л/с.

Стенд для испытаний на пожаростойкость неметаллических и гибких металлических труб состоит из следующих комплексов (причем некоторые технические средства входят в состав сразу нескольких комплексов):

- нагревательного;
- гидравлического и пневматического давления;
- измерительного;
- контроля герметичности испытываемой трубы;
- автоматизации процесса испытаний.

В состав *нагревательного комплекса* входят блок режима нагрева 23, электрический или газовый нагреватель 15 и термодатчик 11, контролирующий температуру окружающей среды вокруг испытываемой трубы 2.

В качестве *источника гидравлического давления* может использоваться ручной гидропресс или любой водопровод, способный обеспечить требуемое давление (на рисунке не показаны), либо насосная установка. В автоматическом режиме испытаний должна применяться насосная установка, которая состоит из насосного агрегата 30, резервуара 29, редуктора давления 25 и запорного крана 7. В качестве *источника пневматического давления* может использоваться компрессор либо ручной пневмонасос (на рисунке не показаны) или воздушный баллон 26 в комплекте с редуктором давления 21, клапаном 17 и краном 9.

В состав *измерительного комплекса* входят персональный компьютер 27, термодатчик 11, измеритель температуры 6 внутри трубы 2, измеритель давления 13, измеритель расхода 31 и регулировочный кран 32. На персональном компьютере 27 записывается также время разгерметизации, регистрируемое одним или несколькими сигнализаторами

протечки 12 различного принципа действия, датчиком 13 или сигнализатором давления 14 (сигналы поступают на персональный компьютер 27 через блок протечки 24 и блок управления 18).

В состав *комплекса контроля герметичности* испытываемой трубы 2 входят блок регистрации протечки 24, сигнализаторы протечки 12 различного принципа действия, датчик 13 и сигнализатор давления 14, сосуд 16 с ароматизирующим веществом и кран 8.

В состав *комплекса автоматизации процесса испытаний* входят блок управления 18, блок режима нагрева 23, клапаны 10 и 17 подачи рабочего тела в трубу 2, клапан 20 сброса рабочего тела в резервуар 29, сигнализатор давления 14 и термодатчик 11.

Для обеспечения в процессе испытаний квазипостоянной температуры вокруг трубы 2 ее накрывают теплоизолирующим колпаком 3.

Испытываемая трубопроводная сборка 2 крепится к стенду при помощи жестких кронштейнов-подвесок 4, рекомендованных производителем труб. Расстояние между подвесками 4 принимается согласно технической документации на испытываемую трубу 2.

Подготовка стенда к испытаниям осуществляется следующим образом. Если труба 2 должна находиться под пневматическим давлением, то в нее при открытом кране 8 подмешивают из сосуда 16 ароматизирующее вещество, после чего кран 8 закрывают. При помощи источника гидравлического давления (30, 25, 7) или пневматического давления (26, 21, 17, 9) и крана 1 в полости испытываемой трубы 2 создают требуемое по условиям проведения испытания давление, которое контролируют с помощью измерителя давления 13. Если предполагается проводить испытания при отсутствии избыточного давления, то поддерживают, соответствен-

но, гидравлическое или пневматическое давление в пределах 0,01–0,10 МПа, что необходимо для осуществления контроля протечки из трубы 2.

Перед включением нагревателя 15 кран 1 перекрывают. Гидравлическая связь внутренней полости испытываемой трубы 2 с источником гидравлического давления 30 (или с источником пневматического давления 26) осуществляется через диафрагму 5. С пульта 28 формируют алгоритм испытаний и режим нагрева. С блока управления 18 на нагреватель 15 подается соответствующая команда для создания вокруг испытываемой трубы 2 требуемого температурного поля (если нагреватель электрический — путем установления тока необходимой величины; если нагреватель газовый — путем установления соответствующего расхода горючего газа). Требуемое значение температуры поддерживается автоматически благодаря взаимосвязанному комплексу “термодатчик 11 — блок режима нагрева 23 — блок управления 18 — нагреватель 15”.

В режиме испытаний с заполненной водой трубой при наличии давления и с расходом воды из испытываемой трубы предварительно при помощи крана 32 и по показаниям измерителя расхода 31 производят тарировку на требуемый расход. В этом режиме на начальном этапе устройство работает аналогично режиму испытаний с заполненной водой испытываемой трубой 7 при наличии давления, но без расхода воды через нее. На втором этапе в процессе нагрева трубы через заданный промежуток времени, определяемый программой испытаний, включаются клапаны 10 и 20, и через испытываемую трубу 2, клапан 20, кран 32 и измеритель расхода 31 начинается движение воды с заданным программой испытания расходом.

Диафрагма 5 предназначена для поддержания постоянного давления в испытываемой трубе 2 при возможном увеличении ее вместимости из-за теплового расширения, обусловленного интенсивным прогревом: скорость увеличения вместимости невысокая, поэтому давление может быть уравновешено через небольшое отверстие диафрагмы.

По окончании испытаний на пожаростойкость при гидравлическом или пневматическом давлении блок управления 18 выдает команду на отключение источника гидравлического давления 30 или пневматического давления 26 и клапана 17. В последнем случае вода из трубы по гидравлическому контуру “клапан 20 — кран 32 — измеритель расхода 31” попадает в резервуар 29, а сброс пневматического давления осуществляется в атмосферу через клапан 19.

Отсчет времени пожаростойкости на всех режимах испытаний начинается с момента подачи

команды на включение нагревателя 15 и заканчивается согласно программе испытаний, реализуемой с помощью блока формирования алгоритма испытаний 22 через определенное фиксированное время t или до нарушения герметичности трубы $\tau_{\text{раз}}$.

При нарушении герметичности давление в испытываемой трубе 2 понижается, и сигнализатор давления 14 выдает управляющий сигнал на один из входов блока протечки 24 и далее — на блок управления 18. В блоке управления 18 фиксируется время нарушения герметичности испытываемой трубы 2 и формируются команды на отключение источника гидравлического 30 или пневматического 26 давления, клапана 10 и нагревателя 15, а также на включение клапана 20. При включении последнего в трубе 2 моментально сбрасывается давление, и начинается слив воды, находящейся в трубе, в резервуар 29.

Регистрация протечки может также осуществляться по записи изменения давления, по срабатыванию сигнализатора давления 14 либо сигнализаторов 12, реагирующих на появление звука, характерного для истечения газа через отверстие, или на наличие запаха ароматизирующего вещества, или на образование пара, характерного для процесса взаимодействия каплей либо струйки воды с нагревателем 15 или с высокотемпературной зоной окружающего трубу воздуха.

При визуальном обнаружении протечки (по появлению каплей, струйки воды либо пара, и/или по характерному звуку истекающего газа, и/или по запаху ароматизирующего вещества) оператор может прервать испытание путем подачи соответствующей команды с пульта 28.

Критериями положительных результатов на всех режимах испытаний являются:

- пожаростойкость труб с заявленными производителем параметрами (температура и давление испытания, рабочее тело (вода или воздух) в трубе и ее диаметр) — не менее 5 мин;
- изменение ориентации оси оросителя не превышает допустимого угла отклонения.

Выводы

Разрабатываемый проект национального стандарта по методам испытаний на пожаростойкость неметаллических труб и фитингов и гибких металлических труб позволит проводить сравнительную оценку стойкости различных видов трубопроводных сборок к огневому воздействию и осуществлять проектирование трубопроводных сетей АУП и внутреннего противопожарного водопровода применительно к конкретным производственным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштейн М. М., Бородин Э. С., Гвоздев И. В., Белоглазова Т. А., Афанасьева Н. Б., Шапиро Г. И., Ехлаков С. В. Теплостойкие пластмассовые трубы // Водоснабжение и санитарная техника. — 1987. — № 5. — С. 15–17.
2. Karen F. Lindsay. FRP pipe finds its niche in specialty applications. — Composites Institute, 1996.
3. Joie L. Folkers. Development of fire resistant fiberglass pipe. — Houston : Ameron Fiberglass Pipe Division, February 1996.
4. Fire sprinkler systems and the use of CPVC plastic piping // Information File of BAFSA. — October 2007. — Issue 1. — BIF No. 8D. — 4 p.
5. Sullivan (Sully) D. Curran P. E. Fire resistant fiberglass pipe. — Heatherfield, Houston : Fiberglass Tank & Pipe Institute, July 2013. — 3 p.
6. Time-tested fiberglass piping systems for water applications // From Smith Fibercast. Bulletin No. C3320. — November 1, 2005. — 11 p. URL: <http://www.designplasticsystems.com/prodcat/Smith/Smith-Water.pdf> (дата обращения: 01.03.2016).
7. Kevin Schmit. Fiberglass reinforced plastic (FRP) piping systems. Column pipe applications on off-shore structures. Engineering Series ES-030. URL: <http://www.fiberbond.com/docs/ColumnPipe-Applications.pdf> (дата обращения: 01.03.2016).
8. НПБ 88–2001*. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования. — Введ. 01.01.2002. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2001.
9. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
11. Проектирование, монтаж и эксплуатация трубопроводов “Акватерм Firestop” в водозаполненных спринклерных установках пожаротушения. Технические условия. — М. : ВНИИПО, 2008. — 88 с.
12. ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость. — Введ. 01.07.1996. — М. : ГУП ЦПП, 1996.
13. ГОСТ Р 50695–94 (МЭК 707–81). Методы определения воспламеняемости твердых электроизоляционных материалов под воздействием источника зажигания. — Введ. 01.01.1995. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1994.
14. ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени. — Введ. 01.01.1997. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996.
15. ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Метод испытания на горючесть. — Введ. 01.01.1996. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1995.
16. ISO 13943:2008. Fire safety — Vocabulary. — Geneva : International Standardization Organization, 2008.
17. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. — Введ. 01.12.2012. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2012.
18. ГОСТ 27484–87 (МЭК 695-2-2–80). Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания горелкой с игольчатым пламенем. — Введ. 01.01.1989. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1988.
19. ГОСТ 30247.1–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. — Введ. 01.01.1996. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1995.
20. ГОСТ Р 53299–2009. Воздуховоды. Метод испытаний на огнестойкость. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартиформ, 2009.
21. ГОСТ Р 53304–2009. Стволы мусоропроводов. Метод испытания на огнестойкость. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартиформ, 2009.
22. Авт. свид. 662852 А1 СССР. МПК G01N 25/52. Нагревательная печь для испытаний кабелей на огнестойкость / Смелков Г. И., Поединцев И. Ф., Кашолкин Б. И. — № 2424818; заявл. 30.11.1977; опубл. 15.05.1979.
23. Пат. 2021326 С1 Российская Федерация. МПК C10G 9/20. Трубчатая печь / Бахшиян Ц. А., Казеннов А. А., Каждан А. З. и др. — № 5025775/05; заявл. 04.02.1991; опубл. 15.10.1994.
24. Авт. свид. 609082 А1 СССР. МПК G10N 25/50. Устройство для испытания материалов на горючесть / Артеменко А. И., Голдобин Г. Д., Ягунов И. Н. — № 2387538; заявл. 23.07.1976; опубл. 30.05.1978.
25. Пат. 2475286 С1 Российская Федерация. МПК A62C 99/00, G01N 25/50. Способ испытания строительных материалов на горючесть и установка по оценке горючести строительных материалов / Лашкин С. М., Баженов С. В., Семёнов Ю. Г., Забегаев В. И. — № 2011128110/12; заявл. 07.07.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.

26. UL 94. Test for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances. — USA, Northbrook : Underwriters Laboratories Inc., 2006.
27. ГОСТ 28779–90. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения воспламеняемости под воздействием источника зажигания. — Введ. 01.01.1992. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1991.
28. ГОСТ Р ИСО 1182–2014. Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод испытания на негорючесть. — Введ. 01.10.2014. — М. : Стандартиформ, 2014.
29. ГОСТ Р 53272–2009. Техника пожарная. Устройства канатно-спускные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартиформ, 2009.
30. ISO 6182-12:2014. Fire protection — Automatic sprinkler systems — Part 12: Requirements and test methods for grooved-end components for steel pipe systems. — Geneva : International Standardization Organization, 2014.
31. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.1996. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996.
32. НПБ 244–97. Материалы строительные. Декоративно-отделочные и облицовочные материалы. Материалы для покрытия полов. Кровельные, гидроизоляционные и теплоизоляционные материалы. Показатели пожарной опасности. — Введ. 01.12.1997. — М. : ФГУ ВНИИПО МВД России, 1997.
33. UL 1821. Standard for thermoplastic sprinkler pipe and fittings for fire protection service. — USA, Northbrook : Underwriters Laboratories Inc., 2015.
34. LPS 1260: Issue 3. Plastic pipe and fittings for use in automatic sprinkler systems. Requirements for testing and approval plastic pipes and fittings. — UK, Watford : BRE Global Ltd., 2008.
35. ASTM F1173–01. Standard specification for thermosetting resin fiberglass pipe systems to be used for marine applications. — USA, West Conshohocken : ASTM International, 2012.
36. IMO Resolution A. 753(18) Level 3. Guidelines for the application of plastic pipes on ships. — London : International Maritime Organization Publishing, 1993.
37. Assaee H. Использование труб из композитных материалов на нефтяных, газовых и нефтеперерабатывающих предприятиях // Proceedings of the JEC 2nd I.C.S. (International Composites Summit), Asia 2011. 18–20 October 2011. — Singapore, 2011.
38. Гусев В. Б., Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Барановский А. С. Пластмассовые трубы “Aquatherm Firestop” — альтернатива стальным трубам автоматических установок пожаротушения и внутреннего противопожарного водопровода // Пожарная безопасность. — 2005. — № 5. — С. 103–109.
39. Бастриков Д. Л., Битуев Б. Ж., Молчанов В. П. Применение гибких трубопроводов в системах противопожарной защиты объектов нефтегазодобывающего комплекса // Технологии техно-сферной безопасности : Интернет-журнал. — 2014. — Вып. 6(58). — 5 с.
40. Романова Е. Ю., Былинкин В. А., Копылов С. Н., Губин Р. Ю. Трубы из неметаллических материалов и методы их испытаний для оценки возможности их применения в АУП // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXVII Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. — М. : ВНИИПО, 2015. — Ч. 3. — С. 239–248.
41. Шнипов А. В., Егоров П. Л. Пластиковые трубопроводы для спринклерных систем пожаротушения — экономические и эксплуатационные преимущества. URL: <http://www.stroybest.ru/info/view/2376> (дата обращения: 01.03.2016).
42. Мешман Л. М., Снегирев А. Ю., Танклевский Л. Т., Таранцев А. А. О возможности использования пластиковых труб в спринклерных установках автоматического пожаротушения // Пожаро-взрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 10. — С. 73–78.
43. Заявка на изобретение 2013131130 А Российская Федерация. МПК В05В 12/00. Способ управления и устройство спринклерной воздушной установки пожаротушения / Танклевский Л. Т., Васильев М. А., Былинкин В. А. и др. — № 2013131130/05; заявл. 05.07.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.
44. Веселов А. И., Мешман Л. М. Автоматическая пожаро- и взрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности. — М. : Химия, 1975. — 280 с.
45. ГОСТ 26349–84. Соединения трубопроводов и арматура. Давления номинальные (условные). Ряды. — Введ. 01.01.1986. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1984.

Материал поступил в редакцию 12 марта 2016 г.

Для цитирования: Мешман Л. М., Романова Е. Ю. Проблемы разработки методики испытаний неметаллических труб и фитингов и гибких металлических труб на пожаростойкость // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 5–29. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.5-29.

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF TEST PROCEDURE FOR NON-METALLIC PIPES AND FITTINGS AS WELL AS FLEXIBLE METAL PIPES FOR FIRE ENDURANCE

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

ROMANOVA E. Yu., Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (mkr. VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: fire404@mail.ru)

ABSTRACT

Advantages of use of nonmetallic pipes as pipeline systems for drencher and sprinkler wet and dry pipe automatic fire extinguishing installations (AUP) are considered. The analysis of advantage of use of nonmetallic pipes and flexible metal pipes in drencher and sprinkler wet and dry AUP is performed. Regulations for design of pipeline networks consisting of these pipes are provided. Distinctions in methods of fire testing of substances, materials and products for flammability, flame distribution, combustibility, fire resistance and fire endurance are shown. The domestic and foreign stands and methods connected with direct pipe testing for fire endurance are considered in detail. It is noted that the bench equipment, test methods and modes stated in domestic and foreign standards and patents for invention do not answer fully assigned purposes. The dependence of change of sprinkler angular attitude on its weight and console length is considered.

It is shown that fire endurance as an integral characteristic allows carrying out an engineering choice of specific pipes and fittings for real fire-hazardous objects. There is reasoned the inter-connection of test parameters and wet AUP functioning both in operating and standby conditions (wet or dry) with the pipe condition in the course of their operation (with or without water discharge). Nomenclature and the values of the set of parameters characterizing fire endurance are proved. As a set of parameters characterizing fire endurance, there are proposed the test duration before the depressurization of the pipe, temperature of tests, hydraulic or pneumatic pressure and water discharge through the pipe carried out automatically in fixed time after the beginning of the test. Test validation of the nature of the orientation angle change of the sprinkler axis (or a spray) must be given depending on its weight, console length and manner of pipe fastening (sliding or rigid).

The criterion for the positive assessment of each test is lack of integrity loss of the test pipes and fittings, and also orientation stability of the sprinkler (or spray) in space (within the possible deflection angle).

The special design of the test pipe is offered for the orientation check of sprinkler axis concerning the initial position. The stand is developed for the fire endurance definition of nonmetallic pipes (with and without fittings) and the sequence of performing operations is formulated. For control automation of depressurization there were used various technical means responding to pressure drop, to appearance of water streams or smell (at control by a dry pipe).

Keywords: flammability; tightness; hydraulic and pneumatic pressure; combustibility; test; fire resistance; fire endurance; test duration; depressurization; flame distribution; test mode; water discharge; temperature.

REFERENCES

1. Ayzenshteyn M. M., Borodin E. S., Gvozdev I. V., Beloglazova T. A., Afanasyeva N. B., Shapiro G. I., Yekhlakov S. V. Teplostoykiye plastmassovyye truby [Heat-resistant plastic pipes]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika — Water Supply and Sanitary Technique*, 1987, no. 5, pp. 15–17.
2. Karen F. Lindsay. *FRP pipe finds its niche in specialty applications*. Composites Institute, 1996.
3. Joie L. Folkers. *Development of fire resistant fiberglass pipe*. Houston, Ameron Fiberglass Pipe Division, February 1996.
4. Fire sprinkler systems and the use of CPVC plastic piping. *Information File of BAFSA*, October 2007, issue 1, BIF no. 8D. 4 p.
5. Sullivan (Sully) D. Curran P. E. *Fire resistant fiberglass pipe*. Heatherfield, Houston, Fiberglass Tank & Pipe Institute, July 2013. 3 p.

6. *Time-tested fiberglass piping systems for water applications*. From Smith Fibercast. Bulletin no. C3320, November 1, 2005. 11 p. Available at: <http://www.designplasticsystems.com/prodcat/Smith/Smith-Water.pdf> (Accessed 1 March 2016).
7. Kevin Schmit. Fiberglass reinforced plastic (FRP) piping systems. Column pipe applications on off-shore structures. *Engineering Series ES-030*. Available at: <http://www.fiberbond.com/docs/Column-PipeApplications.pdf> (Accessed 1 March 2016).
8. *Fire protection standards 88–2001. Fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations norms*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2001 (in Russian).
9. *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).
10. 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).
11. *Proyektirovaniye, montazh i ekspluatatsiya truboprovodov “Akvaterm Firestop” v vodozapolnennykh sprinklernykh ustanovkakh pozharotusheniya. Tekhnicheskiye usloviya* [Design, installation and operation of pipelines “Aquaterm Firestop” in sprinkler wet pipe fire extinguishing installations. Specifications]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2008. 88 p. (in Russian).
12. *Interstate Standard 30402–96. Building materials. Ignitability test method*. Moscow, Center of Design Production in Construction Publ., 1996 (in Russian).
13. *National standard of the Russian Federation 50695–94. Methods of test for the determination of the flammability of solid electrical insulating materials when exposed to an igniting source*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1994 (in Russian).
14. *National standard of the Russian Federation 51032–97. Building materials. Spread flame test method*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1996 (in Russian).
15. *Interstate Standard 30244–94. Building materials. Methods for combustibility test*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1995 (in Russian).
16. *ISO 13943:2008. Fire safety — Vocabulary*. Geneva, International Standardization Organization, 2008.
17. *Set of rules 2.13130.2012. Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012 (in Russian).
18. *National standard of the USSR 27484–87. Fire hazard testing. Test methods. Needle-flame test*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1988 (in Russian).
19. *Interstate standard 30247.1–94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. Load-bearing and separating constructions*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1995 (in Russian).
20. *National standard of the Russian Federation 53299–2009. The test method for the fire resistance. Ventilation ducts*. Moscow, Standartinform Publ., 2009 (in Russian).
21. *National standard of the Russian Federation 53304–2009. Trunks of refuse chutes. The test method on fire resistance*. Moscow, Standartinform Publ., 2009 (in Russian).
22. Smelkov G. I., Poedintsev I. F., Kasholkin B. I. *Nagrevatel'naya pech dlya ispytaniy kabeley na ognestoykost* [Reheating furnace for fire resistance cable testing]. Patent SU, no. 662852, 15.05.1979.
23. Bakhshiyev Ts. A., Kazennov A. A., Kazhdan A. Z. et. al. *Trubchataya pech* [Tube furnace]. Patent RU, no. 2021326, 15.10.1994.
24. Artemenko A. I., Goldobin G. D., Yagupov I. N. *Ustroystvo dlya ispytaniya materialov na goryuchest* [Material test device for combustibility]. Patent SU, no. 609082, 30.05.1978.
25. Lashkin S. M., Bazhenov S. V., Semenov Yu. G., Zabegaev V. I. *Sposob ispytaniya stroitelnykh materialov na goryuchest i ustanovka po otsenke goryuchesti stroitelnykh materialov* [Flammability testing method of construction materials, and evaluation plant of construction materials flammability]. Patent RU, no. 2475286, 20.02.2011.
26. *UL 94. Test for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances*. USA, Northbrook, Underwriters Laboratories Inc., 2006.
27. *National standard of the USSR 28779–90. Solid electrical insulating materials. Test methods for determination of flammability when exposed to an igniting source*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1991 (in Russian).
28. *National standard of the Russian Federation 1182–2011. Fire tests for construction materials and products. Non-combustibility test method*. Moscow, Standartinform Publ., 2014. (in Russian).

29. *National standard of the Russian Federation 53272–2009. Fire equipment. Fire rope descenders. General technical requirements. Test methods.* Moscow, Standartinform Publ., 2009 (in Russian).
30. *ISO 6182-12:2014. Fire protection — Automatic sprinkler systems — Part 12: Requirements and test methods for grooved-end components for steel pipe systems.* Geneva, International Standardization Organization, 2014.
31. *Interstate standard 30247–94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1996 (in Russian).
32. *Fire protection standards 244–97. Building materials. Decorative-finishing and facing materials. Materials for cover of floor. Roofing, hydro- and heat-insulating materials. Parameters of fire danger.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1997.
33. *UL 1821. Standard for thermoplastic sprinkler pipe and fittings for fire protection service.* USA, Northbrook, Underwriters Laboratories Inc., 2015.
34. *LPS 1260: Issue 3. Plastic pipe and fittings for use in automatic sprinkler systems. Requirements for testing and approval plastic pipes and fittings.* UK, Watford, BRE Global Ltd., 2008.
35. *ASTM F1173–01. Standard specification for thermosetting resin fiberglass pipe systems to be used for marine applications.* USA, West Conshohocken, ASTM International, 2012.
36. *IMO Resolution A. 753(18) Level 3. Guidelines for the application of plastic pipes on ships.* London, International Maritime Organization Publishing, 1993.
37. Assae H. Using of composite pipes at oil, gas and oil processing enterprises. *Proceedings of the JEC 2nd I. C. S. (International Composites Summit).* Asia 2011. 18–20 October 2011, Singapore.
38. Gusev V. B., Meshman L. M., Bylinkin V. A., Gubin R. Yu., Baranovskiy A. S. Plastmassovyye trubyy “Aquatherm Firestop” — alternativa stalnym trubam avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya i vnutrennego protivopozharnogo vodoprovoda [Polymer tubes “Aquatherm Firestop” — alternative of steel tubes of automatic fire-extinguishing installations and internal fire water pipeline]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2005, no. 5, pp. 103–109.
39. Bastrikov D. L., Bituev B. Zh., Molchanov V. P. Primeneniye gibkikh truboprovodov v sistemakh protivopozharnoy zashchity ob'ektov neftegazodobyvayushchego kompleksa [Use of flexible piping in systems of fire protection facilities of oil and gas producing complex]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2014, issue 6(58). 5 p.
40. Romanova E. Yu., Bylinkin V. A., Kopylov S. N., Gubin R. Yu. Truby iz nemetallicheskih materialov i metody ikh ispytaniy dlya otsenki vozmozhnosti ikh primeneniya v AUP [Non-metallic pipes and testing methods for assessment of possibility of their application in AUP]. *Aktualnyye problemy pozharnoy bezopasnosti: materialy XXVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 25-letiyu MChS Rossii* [Actual problems of fire safety: materials of XXVII International Theoretical and Practical Conference Devoted to the 25th Anniversary of Emercom of Russia]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2015, part 3, pp. 239–248.
41. Shnipov A. V., Egorov P. L. *Plastikovyye truboprovody dlya sprinklernykh sistem pozharotusheniya — ekonomicheskiye i ekspluatatsionnyye preimushchestva* [Plastic pipe lines for sprinkler fire extinguishing installations — economic and operational advantages]. Available at: <http://www.stroybest.ru/info/view/2376> (Accessed 1 March 2016).
42. Meshman L. M., Snegirev A. Yu., Tanklevskiy L. T., Tarantsev A. A. O vozmozhnosti ispolzovaniya plastikovykh trub v sprinklernykh ustanovkakh avtomaticheskogo pozharotusheniya [On the possibility of the use of plastic pipes sprinkler automatic fire extinguishing installations]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 10, pp. 73–78.
43. Tanklevskiy L. T., Vasilyev M. A., Bylinkin V. A. et. al. *Sposob upravleniya i ustroystvo sprinklernoy vozduшной ustanovki pozharotusheniya* [Control mode and design of dry pipe fire extinguishing installation]. Patent application RU, no. 2013131130, 10.01.2015.
44. Veselov A. I., Meshman L. M. *Avtomaticheskaya pozharo- i vzryvozashchita predpriyatiy khimicheskoy i neftekhimicheskoy promyshlennosti* [Automatic fire-and explosion protection of enterprises of chemical and petrochemical industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1975. 280 p.
45. *National standard of the USSR 26349–84. Tube connections and fittings. Nominal (conditional) pressures. Series.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1984 (in Russian).

For citation: Meshman L. M., Romanova E. Yu. Problemy razrabotki metodiki ispytaniy nemetallicheskih trub i fittingov i gibkikh metallicheskih trub na pozharostoykost [Problems of development of test procedure for non-metallic pipes and fittings as well as flexible metal pipes for fire endurance]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 5–29. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.5-29.

Я. Т. ШАТРОВ, д-р техн. наук, начальник отдела, Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (Россия, 141070, г. Королев, ул. Пионерская, 4; e-mail: ozhigovaav@tsniimash.ru)

Д. А. БАРАНОВ, главный конструктор по средствам выведения, АО "Ракетно-космический центр "Прогресс" (Россия, 443009, г. Самара, ул. Земеца, 18; e-mail: dimitri.baranov@samspace.ru)

Б. Т. СУЙМЕНБАЕВ, д-р техн. наук, заведующий кафедрой эксплуатации космических средств, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева (Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а; e-mail: bts49@mail.ru)

В. И. ТРУШЛЯКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры авиа- и ракетостроения, Омский государственный технический университет (Россия, 644050, г. Омск, просп. Мира, 11; e-mail: vatrushluakov@yandex.ru)

УДК 629.764.7

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТРАБОТАВШИХ СТУПЕНЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ С ЖИДКОСТНЫМИ РАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Рассмотрена проблема пожаровзрывобезопасности при пусках ракет-носителей (РН) с маршевыми жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) в районах падения нижних отработавших ступеней (ОС) при пусках с космодромов "Байконур" и "Восточный", а также верхних ОС — на орбитах выведения полезных нагрузок. Показано, что в районах падения ОС при пусках с космодрома "Восточный" последствия пожароопасности, создаваемой невыработанными остатками топлива в баках ОС, существенно повышают уровень дисбаланса экосистемы. На основе системного анализа сформулированы предложения по выбору технологий, схемных и проектно-конструкторских решений ОС, направленных на повышение пожаровзрывобезопасности при эксплуатации отработавших ступеней РН с ЖРД. В качестве базовой технологии предложена конвективная газификация невыработанных жидких остатков топлива в баках, которая предусматривает подачу горячих газов (теплоносителей) в топливные баки ОС после выключения ЖРД и использование полученных продуктов газификации невыработанных жидких остатков топлива в баках ОС (испарившиеся остатки топлива + газ наддува + теплоноситель) для стабилизации и ориентации ОС при движении по траектории спуска. Показано, что использование предлагаемых технологий позволит практически обеспечить требования пожаровзрывобезопасности РН с ЖРД как в районах падения ОС, так и на орбитах.

Ключевые слова: пожаровзрывобезопасность; ракета-носитель; отработавшая ступень; остатки топлива; газификация; район падения.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.30-42

Введение

Некоторые экологические проблемы, в том числе пожаровзрывоопасность, связаны с пусками ракет-носителей (РН) с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД), в частности с отделением в полете частей, например отработавших ступеней (ОС), и наличием невыработанных жидких остатков компонентов ракетного топлива в их баках [1–4]. Из этого вытекают следующие проблемы:

а) необходимость выделения в постоянное или временное пользование космодрому значительных площадей территорий хозяйствующих субъектов, подвергающихся потенциально пожароопасному воз-

действию при падении и взрыве ОС, что в условиях таежных районов приводит к появлению проблем, связанных с решением ряда политических, социальных, экономических и организационно-технических вопросов (в настоящее время на территории России под районы падения выделено порядка 19 млн. га [4], в 2015 г. Россией осуществлено 29 пусков ракет-носителей, а общее число пусков в мире достигло 86);

б) потенциальная угроза для функциональных космических систем, создаваемая верхними ОС с невыработанными остатками топлива, которые остаются на орбитах выведения и представляют собой крупногабаритный взрывоопасный космиче-

ский мусор (в настоящее время на орбитах вокруг Земли вращается 1682 отработавших орбитальных ступени общей массой 2705 т, из них на орбитах высотой до 2000 км находится 821 ступень общей массой 1198 т [5, 6]).

Перечисленные проблемы приводят к необходимости проведения значительного по объему комплекса исследовательских и проектно-конструкторских работ, реализуемых разработчиками РН с ЖРД и направленных на повышение пожаровзрывобезопасности ОС в соответствующих областях окружающей среды. К этому комплексу работ относится создание алгоритмов управления расходом топлива в баках, введение индивидуальных заправок (компонентов топлива) в баки при каждом пуске РН, мероприятия по уменьшению количества остатков топлива в баках на момент выключения ЖРД, сокращение количества и площадей районов падения и т. д.

В российской практике выбор проектно-конструкторских параметров ступеней РН, в том числе перспективных, осуществляется из условия выведения максимальной массы полезной нагрузки на заданную орбиту при ограничениях по районам падения, минимизации остатков топлива в баках ОС на момент выключения ЖРД [7–9] в отличие от концепции проектирования, принятой, например, в американской практике (в частности, в фирме “SpaceX” [10]).

В связи с интенсивной программой пусков перспективных РН семейств “Ангара” [7, 8], “Союз” [9] с космодромов “Плесецк” и “Восточный” вопросы пожаровзрывобезопасности приобретают особую актуальность по сравнению с космодромом “Байконур”. Это обусловлено тем, что районы падения ОС при пусках с космодромов “Плесецк” и “Восточный” находятся преимущественно в лесистой таежной местности с повышенной пожароопасностью [11–14], а при пусках с космодрома “Байконур” — в пустынных и степных районах [11, 12]. Кроме того, имеет место тенденция к ужесточению требований международных организаций по снижению загрязнения отработавшими ступенями РН защищаемых областей околоземного космического пространства [6, 17].

В связи с этим решение проблемы пожаровзрывобезопасности при эксплуатации РН с ЖРД является весьма актуальной задачей для космодромов “Плесецк” и “Восточный”. Для космодромов, находящихся на побережье Мирового океана (США, ЕС, Япония, Индия и т. д.), такие проблемы для разработчиков РН и эксплуатантов практически отсутствуют, так как районы падения ОС находятся в Мировом океане.

Решение вопросов по обеспечению требований по пожаровзрывобезопасности районов падения ОС при пусках с космодрома “Восточный” предлагается решать на основе системного подхода [18, 19], в том числе с использованием метода переноса достижения требуемых характеристик на этапы летно-конструкторских испытаний [8].

Оценка пожароопасности в районах падения ОС при пусках РН с космодромов “Байконур” и “Восточный”

Общая пожароопасность района падения ОС складывается из двух составляющих: метеорологической пожароопасности и опасности возгорания растительного покрова, находящегося в этом районе.

Метеорологическая пожароопасность определяется температурным воздействием, влажностным режимом атмосферы, сезонностью и т. д. В настоящее время накоплен значительный фактический и методический материал по оценке метеорологической пожарной опасности, например критерии Нестерова и т. п. [13].

Пожароопасность растительного покрова определяется свойствами материала, т. е. такими показателями, как горючесть [14].

На рис. 1 представлено расположение районов падения отработавших ступеней РН, запускаемых с космодрома “Байконур” [15]. Судя по географическому положению районов падения, приведенных на рис. 1, они в целом непожароопасны, поскольку большая часть их покрыта сильно разреженной полупустынной растительностью. Имеются лишь отдельные пожароопасные участки местности, но они

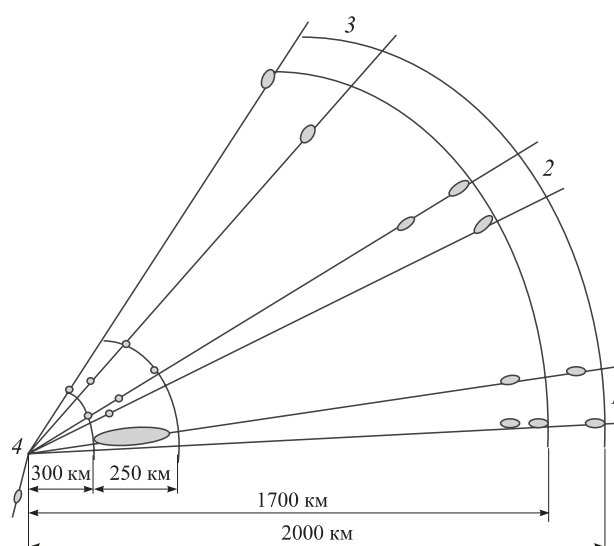


Рис. 1. Районы падения ОС при пусках с космодрома “Байконур” на территории Республики Казахстан: 1 — наклонные орбиты $i = 50^\circ$, $i = (50,6 \dots 50,7)^\circ$, $i = (51,5 \dots 51,8)^\circ$; 2 — $i = 62,25^\circ$, $i = (65,0 \dots 65,7)^\circ$; 3 — $i = 70^\circ$, $i = (71,4 \dots 71,7)^\circ$; 4 — $i = 90^\circ$

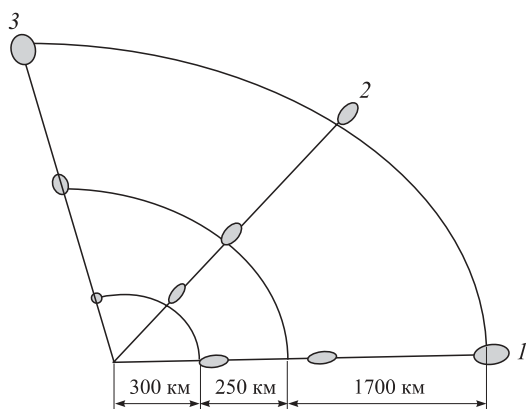


Рис. 2. Районы падения при пусках с космодрома “Восточный”: 1 — $i = 51,7^\circ$; 2 — $i = 63^\circ$, $i = 64,8^\circ$; 3 — $i = 98^\circ$

незначительны по площади и располагаются по долинам рек и ручьев. Пожароопасным считается период с момента схода снежного покрова до наступления устойчивой дождливой осенней погоды или образования снежного покрова. Для рассматриваемого случая это соответствует периоду с конца марта — начала апреля до первой декады ноября [11, 16].

Метеорологическая пожароопасность районов падения ОС при запуске РН с космодрома “Восточный” (рис. 2) в целом близка к пожароопасности рассмотренных районов падения для космодрома “Байконур”, однако по параметрам горючести и воспламеняемости существенно отличается от них. Для районов падения при пусках с космодрома “Байконур” характерна преимущественно пустынная растительность, а с космодрома “Восточный” — хвойные леса. Горючесть хвойной растительности многократно выше по сравнению с пустынной [12].

Другим фактором, влияющим на воспламеняемость растительного покрова, является тип компонентов ракетного топлива. Если с космодрома “Байконур” осуществлялись пуски РН с такими компонентами, как несимметричный диметилгидразин, азотный тетраоксид, кислород, керосин, то на космодроме “Восточный” в качестве компонентов ракетного топлива использовались кислород, керосин. В соответствии с предварительно проведенными оценками [15] можно сделать предположение, что условия воспламеняемости одного и того же растительного покрова при использовании таких компонентов топлива, как кислород и керосин, выше, чем при применении несимметричного диметилгидразина и азотного тетраоксида.

Постановка задачи по реализации комплексного подхода к проблеме повышения пожаровзрывобезопасности ОС при эксплуатации РН с ЖРД

Для выбора технологических, проектно-конструкторских и схемных решений по РН, обеспечива-

ющих заданный уровень пожаровзрывобезопасности на основе методов системного анализа, предлагается рассмотреть замкнутую систему, включающую отработавшую ступень, систему экологического мониторинга космодрома (СЭМК) и систему принятия проектно-конструкторских решений (СПКР) разработчиком РН, — ОС + СЭМК + СПКР.

При анализе функционирования системы ОС + СЭМК + СПКР проводится разбиение окружающей среды на четыре области, в которых может находиться ОС: $\{R_1\}$, $\{R_{11}\}$, $\{R_{12}\}$, $\{R_3\}$.

$\{R_1\}$ — область, в которой находится ОС после отделения полезной нагрузки [6]. Сроки нахождения ОС в этой области могут колебаться от нескольких до сотен и более лет (например, орбиты высотой более 800 км). $\{R_1\}$ представляет собой область объемом V_{oc} , который можно оценить как произведение максимальной площади сечения (миделя) ОС S_{oc} на длину одного витка орбиты. В случае взрыва ОС эта область возрастает многократно, и, как следствие, повышаются риски столкновения с другими космическими объектами. Например, для орбиты высотой 800 км и площадью миделя $S_{oc} = 10 \text{ м}^2$ объем этой области составит порядка $0,45 \text{ км}^3$. Если учесть, что плоскость орбиты будет перемещаться по долготе восходящего узла, то этот объем по времени будет увеличиваться, и, соответственно, будет повышаться вероятность попадания работающего космического аппарата в этот объем космического пространства. Эта вероятность очень мала, однако она существует. Примером может служить столкновение 10.02.2009 г. КА “Иридиум-33” с КА “Космос-2251” на высоте 790 км, в результате чего область V_{oc} , омеваемая осколками от их фрагментов, многократно увеличилась [5].

Основной проблемой техногенного воздействия ОС на окружающую среду в этой области, помимо прямого столкновения, является высокая вероятность взрыва ОС вследствие теплового нагружения конструкции ОС солнечным излучением, повышения внутреннего давления испарившихся компонентов топлива в баках, снижения прочности конструкции баков ОС под воздействием факторов космического пространства (тепловое нагружение, различные типы излучений). Рекомендуются варианты обеспечения практической взрывобезопасности для ОС, находящихся в области $\{R_1\}$, — полная пассивация, например выброс в окружающее пространство остатков жидкого топлива, находящегося в баках и магистралях ОС [17]. Однако в условиях космического пространства выброс через традиционные дренажные клапаны приводит к их забиванию замерзшими парами компонентов топлива. Наиболее желаемый вариант решения этой проблемы — управляемый и оперативный спуск с орбиты ОС после выполнения

их миссии, который был реализован NASA на второй ступени РН “Дельта-4” с высоты около 800 км [20].

Область $\{R_{11}\}$ характеризуется воздействием на ОС верхних слоев атмосферы, например, при спуске ступеней РН после доставки полезных грузов на международную станцию, солнечно-синхронные орбиты и т. д. Время нахождения ОС в этой области может составлять от нескольких недель до года и более. Наиболее желаемый вариант решения этой проблемы — управляемый и оперативный спуск ОС с орбиты после выполнения их миссии по выведению полезного груза, который был реализован CNES на второй ступени РН “Ариан-5” [21] с круговой орбиты высотой 260 км, JAXA — на второй ступени РН “НП-В” [22] с круговой орбиты 200 км.

Область $\{R_{12}\}$ характеризуется максимальным воздействием атмосферы на ОС. Время нахождения ОС в данной области не превышает 1000 с. Разрушение верхних ОС, входящих в эту область со скоростью до 7–8 км/с, происходит в окрестности высот, начиная с 60 км и заканчивая 20 км. Возможно разрушение нижних ОС, но, как правило, этого не происходит из-за низких скоростей входа их в атмосферу (до 1,4 км/с). Наиболее желаемый вариант решения этой проблемы — управляемый спуск нижних (первых) ОС, который был продемонстрирован РН “Фалкон-9” [10].

Область $\{R_3\}$ представляет собой поверхность, где находятся ОС, их фрагменты и проливы топлива. Время нахождения ОС в этой области может составлять от нескольких суток до нескольких лет и определяется планом-графиком работ в районах падения ОС [4]. Наиболее предпочтительный вариант решения проблемы пожаровзрывобезопасности ОС в этой области — минимизация площади района падения ОС и их фрагментов, удаление остатков топлива из баков и магистралей ОС к моменту достижения района падения.

В настоящее время активно развивается направление ликвидации районов падения ОС и, например, внедрения управляемого спуска ОС мягкой посадкой в районе космодрома (РН “Фалкон-9”, “Шеппард”, проекты “Байкал”, “Россиянка”, “Воздушный старт”) или в выделенной точке, в частности на платформе в Атлантическом океане. В дальнейшем планируется детализация (разработка аналитических выражений) при расчете критериев пожаровзрывобезопасности ОС.

В рамках рассматриваемой постановки задачи по повышению пожаровзрывобезопасности ОС предлагается подход, основанный на сохранении российских традиционных условий эксплуатации РН с ЖРД, минимальных изменениях принятых проектно-конструкторских решений, с одной стороны, и на внедрении технологий, обеспечивающих возможность

повышения тактико-технических характеристик РН (повышения массы выводимого полезного груза, расширения диапазона орбит выведения), — с другой.

Этот подход можно сформулировать в виде трех концепций (K1–K3):

K1 — сохранение выделенных районов падения $\{R_3\}$ с постепенным сокращением их площади и количества за счет внедрения оперативного управляемого спуска ОС с орбит и траекторий выведения с последующей мягкой посадкой нижних ОС в заданной точке существующего района падения;

K2 — сохранение достигнутой полетной надежности РН за счет введения в их состав дополнительных автономных систем, функционирующих после завершения миссии ступени РН по выведению полезных грузов;

K3 — изменение проектно-конструкторских параметров РН на основе рекомендаций СЭМК, международных организаций, с минимальными изменениями проектно-конструкторских параметров существующих бортовых систем и с учетом перспектив дальнейшего повышения тактико-технических характеристик РН.

Введем следующие обозначения, критерии и ограничения:

а) вектор проектно-конструкторских параметров $\vec{X}$, описывающий конструкцию, например, первой ступени РН:

$$\vec{X}(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (1)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_k$ — конкретные значения s -го варианта проектно-конструкторских параметров ОС, определяющие в том числе величину остатков соответственно окислителя и горючего в баках и магистралах на момент выключения ЖРД:

$$m_k^{\text{ок}}, m_k^{\text{гор}}; \quad (2)$$

б) критерии W_{R_i} , определяющие вероятность появления событий типа пожара, взрыва, химического загрязнения окружающей среды:

$$W_{R_i}(\vec{X}(x_1, x_2, \dots, x_k), m_k^{\text{ок}}, m_k^{\text{гор}}), \quad (3)$$

где i — соответствующие области окружающей среды:

$$\{R_1\}, \{R_{11}\}, \{R_{12}\}, \{R_3\}; \quad (4)$$

в) ограничения на стоимость C_Σ и сроки создания T_Σ РН:

$$C_\Sigma < C_{\text{зад}}, T_\Sigma < T_{\text{зад}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{зад}}, T_{\text{зад}}$ — заданные ограничения соответственно по стоимости и времени создания РН.

Алгоритм расчета критериев (3) предполагает использование методов математической статистики с учетом факторов воздействия на ОС для каждой области (4). Расчет критериев осуществляется на осно-

ве инженерных методик, исключающих использование программных пакетов типа ANSYS и других, требующих значительных затрат времени.

С учетом принятых концепций (К1–К3), системы критериев (3) и ограничений (5) постановка задачи по повышению пожаровзрывобезопасности ОС при эксплуатации РН с ЖРД формулируется следующим образом: найти такой вектор проектно-конструкторских параметров (1), который описывал бы конструкцию ступени РН путем выбора технологических, схемных и проектно-конструкторских решений, приводящих к

$$\min W_{R_i}(\vec{X}(x_1, x_2, \dots, x_k), m_k^{\text{ок}}, m_k^{\text{гор}}). \quad (6)$$

во всех областях (4) при обеспечении ограничений (5) и удовлетворяющих концепциям К1–К3.

Декомпозиция постановки задачи

Формирование проектно-конструкторского облика РН и, соответственно, ОС осуществляется в проектирующей структуре, т. е. в КБ — разработчике РН. В рассматриваемой схеме это соответствует системе принятия проектно-конструкторских решений, представленной на рис. 3. Приведенный на рис. 3 состав систем соответствует функциям разработчика РН в одном из многих направлений проектирования, в частности в повышении пожаровзрывобезопасности, и включает следующие подсистемы (ПС):

- оценку критериев пожаровзрывобезопасности $W_{R_i}(\vec{X}(x_1, x_2, \dots, x_k), m_k^{\text{ок}}, m_k^{\text{гор}})$ в выделенных областях $\{R\}$, которая осуществляется на основе результатов проектирования РН как функция проектно-конструкторских и баллистических параметров ОС (1), остатков топлива в баках (2) с помощью параметров горючести лесного покрова в районах падения ОС и данных из СЭМК;
- синтез возможных технических решений по проектно-конструкторским параметрам ОС (1) в соответствии с условием (6), ограничениями (5) и принятыми концепциями К1–К3;
- базы данных по современным требованиям и современному уровню их решения, в том числе базы конкурентов (NASA, CNES, JAXA и др.);
- оценку эффективности принятых технических решений по сравнению с известными решениями.

На рис. 4 приведена схема ОС, включающая в свой состав подсистемы:

- общие проектно-конструкторские и баллистические характеристики РН и ОС;
- возможные технологии, схемы и проектно-конструкторские решения по уменьшению остатков топлива в баках ОС, площадей районов падения ОС и повышению пожаровзрывобезопасности;

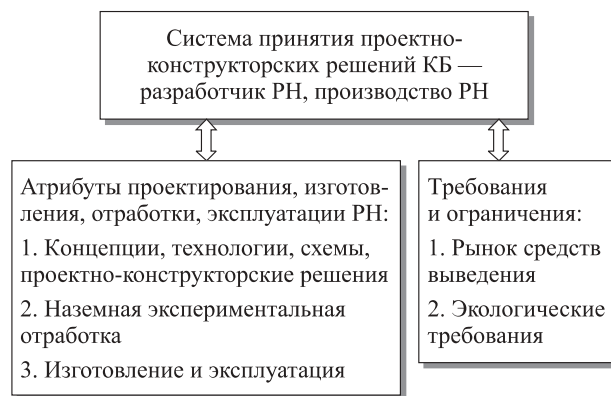


Рис. 3. Схема системы принятия проектно-конструкторских решений по ОС, направленных на повышение пожаровзрывобезопасности ОС при пусках РН с ЖРД

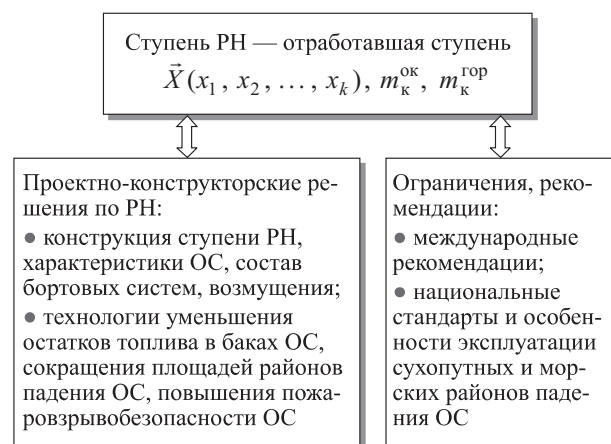


Рис. 4. Схема отработавшей ступени как элемента системы ОС + СЭМК + СПКР

- бортовые системы, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду в различных областях $\{R\}$, в том числе: а) конструкция ОС как источник космического мусора на орбитах и причина наличия районов падения на поверхности Земли; б) остатки топлива в баках и магистралях ОС как источник энергии для взрыва конструкции ОС и пожароопасности в районах падения.

На рис. 5 приведена схема системы экологического мониторинга космодрома, являющейся в общем случае распределенной системой [12], подсистемы которой находятся как непосредственно на космодроме, так и в организациях Роскосмоса, Казкосмоса, проводящих работы непосредственно на космодроме, в районах падения, в КБ — разработчиках РН, Центре контроля космического пространства и т. д. Эта система в настоящее время находится в состоянии развития, модернизации, интеграции в международную деятельность по экологическим и юридическим вопросам использования околоземного космического пространства, обмену информацией по готовящимся пускам РН и т. д.

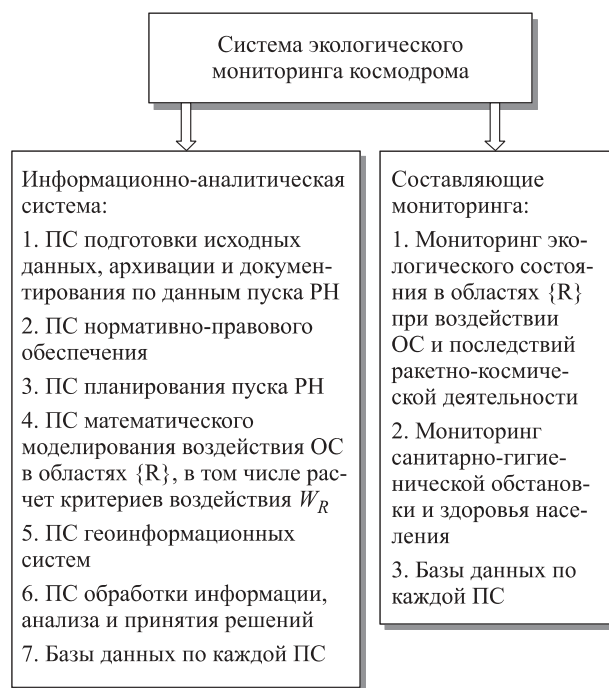


Рис. 5. Схема система экологического мониторинга космодрома

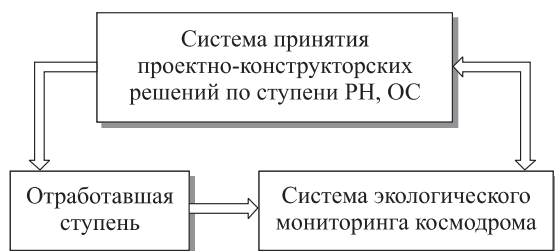


Рис. 6. Замкнутая система ОС + СЭМК + СПКР

На рис. 6 приведена замкнутая система ОС + СЭМК + СПКР, функционирование которой предполагается следующим образом. Информация по исходным данным на ОС поступает в СЭМК из СПКР и на основании ее в СЭМК производится математическое моделирование воздействия результатов пуска РН на окружающую среду и расчет критериев (3). Параллельно на основании результатов пуска РН на основе приборного мониторинга воздействия ОС в областях (4) осуществляется уточнение результатов математической оценки критериев (3). Формируются исходные данные для системы СПКР в виде критериев (3) для направленного изменения параметров конструкции ОС (1) и (2), алгоритмов функционирования бортовых систем, управления движением и т. д. Система функционирует как на этапе летных испытаний до сдачи в эксплуатацию проектируемого комплекса РН, так и в процессе эксплуатации РН.

Проведенная декомпозиция общей постановки задачи позволяет в первом приближении рассматривать каждую подсистему как независимую. Ниже

описывается методический подход к обеспечению пожаровзрывобезопасности отработавших нижних и верхних ступеней РН в рассматриваемых областях окружающей среды $\{R\}$.

Разработка технологических, схемных и проектно-конструкторских решений по повышению пожаровзрывобезопасности ОС

В соответствии с атрибутами проектирования сложных технических систем и методами системного анализа [7–9, 18, 19] на этапе НИР рассматриваются возможные варианты решения сформулированной задачи. Для решения задачи (1)–(6) предлагается использовать несколько технологий. Из них стоит выделить технологию извлечения энергетических ресурсов из невыработанных остатков топлива в баках ОС на основе их конвективной газификации, которая является базовой и уникальной. Среди других технологий можно назвать технологию использования извлеченных энергетических ресурсов для реализации возможности маневрирования ОС, применение более оптимальных схем выведения РН и спуска ОС [23, 24].

Предварительные исследования [23] показали возможность удовлетворения основных концепций К1–К3 на основе предлагаемых технологий.

Извлечение традиционно не используемых энергетических ресурсов (невыработанные остатки топлива в баках и магистралях РН после выключения ЖРД) предлагается обеспечивать путем подачи горячих газов (теплоносителей) в топливные баки для конвективной газификации (испарения) остатков топлива [25]. При этом предварительно осуществляется продувка топливных магистралей для подачи по ним топлива в баки. Полученные продукты газификации (испарившиеся остатки топлива + газ наддува + теплоноситель) используются для решения задач управления движением центра масс и вокруг центра масс ОС [26] либо для безмоментного сброса в окружающее космическое пространство в целях выполнения международных рекомендаций по обеспечению взрывобезопасности орбитальных ОС в защищаемых областях околоземного космического пространства [23].

Практическая реализация предлагаемых концепций заключается в использовании дополнительной автономной бортовой системы спуска (АБСС), в состав которой входят подсистемы [23, 25, 26]:

- газификации невыработанных остатков топлива (емкости для хранения газогенерирующих составов, газогенерирующие составы, газогенераторы, магистрали подачи теплоносителей в баки, магистрали подачи продуктов газификации на

газореактивные сопла сброса, система продувки магистралей подачи топлива в ЖРД);

- управления движением ОС (системы навигации, управления движением центра масс и вокруг центра масс, исполнительные органы в виде регулируемых сопел сброса продуктов газификации из каждого бака).

При установке АБСС наблюдается увеличение массы конструкции ступени РН, однако, учитывая тот факт, что осуществляется утилизация невыработанных остатков топлива, а также газогенерирующих составов (их сжигание, сброс через сопла), мы получаем энергетический выигрыш по характеристической скорости (например, для второй ступени РН он составляет до 5 % по сравнению с традиционной схемой использования топлива [24]).

Характеристическую скорость ΔV при истечении газа из камеры сгорания рабочей смеси (в рассматриваемом случае продуктов газификации) для приближенных оценок можно записать в виде формулы Циолковского [28]:

$$\Delta V = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT \left[1 - \left(\frac{p_c}{p_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \ln \frac{m_{oc}}{m_{oc}^{cux}}, \quad (7)$$

где k , R , T — показатель адиабаты, газовая постоянная и температура в камере сгорания (сопле сброса) продуктов газификации соответственно;
 p_c , p_k — давление соответственно на срезе сопла и в камере сгорания;
 m_{oc} , m_{oc}^{cux} — масса отработавшей ступени с АБСС и “сухая” масса ступени РН с элементами конструкции АБСС;

$$m_{oc} = m_{oc}^{cux} + m_{ггс} + m_{ост}^{топ} + m_{кон}; \quad (8)$$

m_{oc}^{cux} — сухая масса исходной ступени РН (без АБСС);

$m_{ггс}$ — масса газогенерирующих составов для получения теплоносителей;

$m_{ост}^{топ}$ — масса невыработанных остатков топлива в баках;

$m_{кон}$ — масса конструкции АБСС (газогенераторы; магистрали подачи теплоносителей, продуктов газификации; система управления и т. д.).

Утилизация продуктов газификации требует либо разработки нового ЖРД, либо модернизации существующего ЖРД, как это сделано, например, на ЖРД LE-5B-2 для второй ступени РН “Н-ПВ”. При сжигании продуктов газификации в камере сгорания ЖРД реализуются другие условия по параметрам k , R , T по сравнению со штатным режимом работы ЖРД, в результате чего происходит уменьшение тяги в

36 раз [22]. Этой тяги ЖРД, невыработанных остатков топлива в баках и газа наддува достаточно для совершения маневра спуска ОС с орбиты с последующим сгоранием их в плотных слоях атмосферы.

Первый сомножитель (выражение под корнем) в формуле Циолковского (7) представляет собой скорость истечения продуктов сгорания. Для рассматриваемых параметров она на 25–30 % меньше, чем при штатном режиме работы ЖРД, и изменяется в диапазоне 1500–2700 м/с [25].

Второй сомножитель в (7) определяет массовые характеристики АБСС, однако даже при практически нулевой массе элементов конструкции АБСС в (8) этот сомножитель существенно не изменяется: например, для рассматриваемого диапазона масс m_{oc}^{cux} , $m_{ггс}$, $m_{ост}^{топ}$, $m_{кон}$ это приводит к его изменению не более чем на 15 % от исходного.

Приведенные в [25] оценки на примере отработавших ступеней РН “Союз-2.1.в” дают следующие величины характеристических скоростей (по (7)) при утилизации газифицированных продуктов в камере сгорания ракетного двигателя с учетом их химического взаимодействия: для отработавшей первой ступени — приблизительно до 1000 м/с, второй ступени — примерно до 500 м/с. При этом полагается, что суммарная масса остатков топлива составляет до 3 % от начальной заливки, масса газогенерирующих составов для получения теплоносителей для горючего и окислителя — до 15 % от массы остатков топлива, масса конструкции АБСС — до 5 % от массы конструкции “сухой” ступени.

Существенную значимость имеет вопрос о величине невыработанных остатков топлива в баках отработавших ступеней, которые представляют собой пассивную массу и характеризуют эффективность использования топлива данной конструкцией РН и ЖРД. Фактическая масса остатков топлива в каждом баке является случайной величиной, имеющей постоянную и переменную составляющие.

К постоянной составляющей остатков топлива относятся: а) остатки недозабора в баках; б) остатки в топливных магистралях до входа в ЖРД; в) остатки топлива на стенках баков; г) топливо в виде паров в газе наддува баков; д) номинальные невыработанные рабочие остатки топлива.

К переменным остаткам топлива относятся: а) возможные невыработанные остатки рабочего топлива; б) остатки гарантийных запасов топлива, которые могут колебаться в интервале от 0 до их удвоенной величины [4].

При расчете гарантийных остатков топлива учитываются все возможные разбросы параметров бортовых и наземных систем РН, в том числе: точность систем заправки топливом РН на старте; дискретность уровней заправки; сортность топлива; темпе-

ратурные разбросы для топлива; точность системы регулирования расходов топлива; разбросы значений параметров конструкции баков; условия полета и работы ЖРД и т. д.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрено обеспечение пожаровзрывобезопасности штатного (неаварийного) процесса эксплуатации ОС с ЖРД на предпоследнем этапе жизненного цикла РН. Последним этапом жизненного цикла РН является утилизация ОС в районах их падения для нижних ОС и спуск с орбиты со сгоранием в плотных слоях атмосферы для верхних ОС. Как отмечалось выше, специфика эксплуатации РН в России заключается в том, что космодромы находятся внутри страны. Этим обуславливается повышенная пожароопасность в местах падения ОС — сухопутных таежных районах, в частности, при запуске РН с перспективного космодрома “Восточный”.

В России имеются и морские районы падения ОС, однако в основном при пусках, осуществляемых с космодромов “Байконур” и “Плесецк”, а в перспективе и с космодрома “Восточный”, используют внутренние сухопутные районы падения.

С точки зрения взрывоопасности орбитальных ОС российские проблемы идентичны проблемам зарубежных средств выведения на орбиту РН [5, 6]. В настоящее время число взрывов ОС на орбитах (включая российские, американские, французские, китайские, индийские, японские ОС) превышает 200. Подобные проблемы отсутствуют при эксплуатации ОС с твердотопливными ракетными двигателями.

Предлагаемый в настоящей статье подход предусматривает отказ от традиционного подхода, основанного на минимизации остатков топлива в баках отработавших ступеней РН после выключения ЖРД, что является исходной и основной причиной их повышенной пожаровзрывоопасности при штатной эксплуатации.

Для решения фундаментальной научно-технической проблемы снижения техногенного воздействия на окружающую среду при пусках РН с ЖРД предлагается технология практически полного извлечения невыработанных остатков топлива из баков и магистралей ОС, что практически решает проблему пожаровзрывобезопасности. Более того, извлеченные энергетические ресурсы направляются на повышение тактико-технических характеристик РН [23–26].

Как показали проведенные исследования [23–26], при решении основной (первой) задачи по повышению пожаровзрывобезопасности ОС (что соответствует решению краевой задачи (1)–(6)) существует

возможность решить и сопутствующие задачи — повышение тактико-технических характеристик РН (увеличение массы выводимого полезного груза, расширение диапазона орбит выведения), снижение стоимости пуска РН за счет уменьшения объема послепусковых работ в районах падения (поиск, разделка, складирование, вывоз в места утилизации фрагментов ОС, проведение работ по обезвреживанию почвогрунтов, приведение территории в исходное состояние, что может составлять до 15 % от стоимости пуска [4]).

Эффективность решения сопутствующих задач определяется критерием (7), при этом существуют отличия их решения для верхних (орбитальных) и нижних ОС. Если для верхней (орбитальной) ОС решение задач заключается в спуске с орбиты с последующим сгоранием в плотных слоях атмосферы, то для нижней ОС, которая возвращается в район падения, — в управляемом спуске с обеспечением пожаровзрывобезопасности во избежание возгорания растительных покровов и с минимальным отклонением от расчетной точки приземления.

Использование разработанного методического подхода на основе фазовых превращений при реализации тепло- и массообмена позволяет перейти к решению задачи по сжиганию отделяющихся от РН частей при полете в плотных слоях атмосферы, например межступенных отсеков, головных обтекателей, что позволит исключить районы их падения [27].

Выводы

1. Рассмотрена проблема воздействия последствий пусков РН с ЖРД на окружающую среду, в частности определены основные факторы на орбитах выведения последних ступеней, на траекториях спуска, в районах падения ОС, приводящие к взрывам и пожарам.

2. Показано, что в районах падения ОС при пусках РН с космодрома “Восточный” по сравнению с космодромом “Байконур” последствия пожаровзрывоопасности, создаваемой невыработанными остатками топлива в баках ОС, более существенно повышают уровень дисбаланса экосистемы.

3. Предложена замкнутая система с обратной связью ОС + СЭМК + СПКР, позволяющая формировать оптимальные направления изменения проектно-конструкторских параметров ОС для обеспечения их пожаровзрывобезопасности.

4. Сформулированы предложения по выбору технологий, схемных и проектно-конструкторских решений. В качестве базовой технологии предложена конвективная газификация невыработанных остатков топлива в баках, основанная на том, что после выключения ЖРД в топливные баки подаются горя-

чие газы, а полученные продукты газификации используются для стабилизации и ориентации ОС при движении по траектории спуска.

5. Проектно-конструкторская реализация предлагаемой технологии заключается в установке активной бортовой системы спуска отработавших ступеней РН, при этом “сухая” масса конструкции этой системы не превышает 5 % от массы “сухой” конструкции ступени РН. Использование АБСС позволяет обеспечить не только практически полную утилизацию невыработанных остатков топлива (практическое решение проблемы пожаровзрывобезопасности), но и возможность реализации энергетически оптимальных схем и траекторий выведения полезных нагрузок на орбиты, что, помимо компенсации увеличения массы конструкции ОС,

в ряде случаев повышает массу выводимого полезного груза, расширяет диапазон орбит выведения РН и т. д.

6. Внедрение предлагаемых технологий, основанных на подаче дополнительного количества теплоты для реализации фазовых переходов веществ, позволяет в перспективе рассматривать их распространение на решение других задач, например сжигание элементов конструкций (межбачковых отсеков, головных обтекателей) в процессе их полета по траектории спуска, что даст возможность отказаться от использования районов их падения.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РФ по соглашению № 14.577.21.0157 от 28.11.2014 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по организации безопасной эксплуатации космических средств российского космического агентства (РОБЭКС-99). — М. : РКА, 1999. — 195 с.
2. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду : справ. пособие / Под общ. ред. В. В. Адушкина, С. И. Козлова, А. В. Петрова. — М. : Анкил, 2000. — 640 с.
3. Кондратьев А. Д., Кречетов П. П., Королева Т. В. Обеспечение экологической безопасности при эксплуатации районов падения отделяющихся частей ракет-носителей. — М. : Пеликан, 2007. — 80 с.
4. Шатров Я. Т. Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической деятельности : учеб.-метод. пособие. Ч. 2: Экономические и производственные аспекты. Экологический мониторинг. Методические подходы, методики и результаты оценок экологической безопасности средств выведения. — Королев : ЦНИИМаш, 2010. — 222 с.
5. Руссо М. Космическая экология. URL: http://polit.ru/article/2014/07/11/sk_space_debris (дата обращения: 14.02.2016).
6. Anselmo L., Pardini C. Ranking upper stages in low Earth orbit for active removal // Acta Astronautica. — 2016. — Vol. 122. — P. 19–27. DOI: 10.1016/j.actaastro.2016.01.019.
7. Сердюк В. К. Проектирование средств выведения космических аппаратов : учеб. пособие / Под ред. А. А. Медведева. — М. : Машиностроение, 2009. — 504 с.
8. Бахвалов Ю. О., Абросимов Ю. В., Азаров А. В. и др. Новые подходы к вопросам проектирования и экспериментальной отработки космической техники // Научно-технические разработки КБ “Салют” 2012–2013 гг. / Под общ. ред. Ю. О. Бахвалова. — М. : Машиностроение, 2014. — Вып. 4. — С. 4–6.
9. Куренков В. И. Основы проектирования ракет-носителей. Выбор основных проектных характеристик и формирование конструктивного облика : учеб. пособие / Под ред. А. Н. Кирилина. — Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. — 458 с.
10. Website of SpaceX. URL: www.spacex.com (дата обращения: 13.02.2016).
11. Чернокульский А. В., Мохов И. И., Школьник И. М. Риск пожароопасности в различных регионах России и его возможные изменения в XXI веке по модельным расчетам. URL: <http://www.myshared.ru/slide/361923> (дата обращения: 17.02.2016).
12. Космодром “Восточный” на карте, планы космодрома. URL: <http://vostokdrom.ru/map> (дата обращения: 17.02.2016).
13. Кац А. Л., Гусев В. Л., Шабунина Т. А. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. — М. : Гидрометеиздат, 1975. — 16 с.
14. Шерстюков Б. Г. Оценки потенциальной горимости лесов в России по месячным метеорологическим данным. URL: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/14_Sherstyukov_B_G.pdf (дата обращения: 14.02.2016).

15. Суйменбаев Б. Т. Экологическая безопасность эксплуатации ракетно-космических комплексов. — Алматы : Гига трейд, 2009. — 240 с.
16. Разработка структуры и подготовка исходных данных для базы данных СЭМК в соответствии с требованиями уполномоченных органов РК и РФ : отчет о НИР / НТЦ “Экон-ЦНИИМаш”. — М., 2005.
17. Update of the IADC space debris mitigation guidelines. IADC-11-02. Beijing, May 2014.
18. Гайкович А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. — СПб. : НИЦ МОРИНТЕХ, 2001. — 432 с.
19. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / Пер. с англ. — М. : Мир, 1969. — 440 с.
20. Patera R. P. *et al.* Controlled deorbit of the Delta IV upper stage for the DMSP-17 mission // Proceedings of the 2nd IAASS Conference “Space Safety in a Global World”, 14–16 May 2007. — USA, Chicago, 2007.
21. Ariane-5. Data relating to Flight VA205 by Hugues Lanteri. Kourou, March 2012. URL: http://space-airbusds.com/media/document/flight-va205_atv3.pdf (дата обращения: 15.02.2016).
22. Takase K. *et al.* Successful demonstration for upper stage controlled re-entry experiment by H-PIB launch vehicle // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. — 2011. — Vol. 48, No. 4. — P. 11–16.
23. Шатров Я. Т., Баранов Д. А., Трушляков В. И., Куденцов В. Ю. Определение направлений разработки методов, технических решений и средств снижения техногенного воздействия на окружающую среду для реализации на борту космических средств выведения // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). — 2011. — № 1(25). — С. 38–48.
24. Трушляков В. И., Лемперт Д. Б., Белькова М. Е. Исследование возможности использования газогенерирующих составов для повышения эффективности жидкостных ракет // Физика горения и взрыва. — 2015. — Т. 51, № 3. — С. 48–54. DOI: 10.15372/FGV20150307.
25. Makarov Yu., Shatrov Ya., Baranov D., Trushlyakov V. Self-contained onboard LV stage disposal system based on energy resources unexpended after space craft orbital insertion // Proceedings of the 65th International Astronautical Congress, 29 September – 3 October 2014. — Canada, Toronto, 2014. — IAC-14.A6.P.28.
26. Пат. 2456217 C2 Российская Федерация. МПК B64G 1/40, B64G 1/24. Способ управления ракетами космического назначения / Трушляков В. И., Куденцов В. Ю., Шатров Я. Т. — № 2010113169/11; заявл. 05.04.2010; опубл. 20.07.2012, Бюл. № 20.
27. Лемперт Д. Б., Трушляков В. И., Зарко В. Е. Оценка массы пиротехнической смеси для сжигания головного обтекателя космической ракеты // Физика горения и взрыва. — 2015. — Т. 51, № 5. — С. 121–125. DOI: 10.15372/FGV20150514.
28. Добровольский М. В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : учеб. для вузов / Под ред. Д. А. Ягодникова. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 488 с.

Материал поступил в редакцию 19 февраля 2016 г.

Для цитирования: Шатров Я. Т., Баранов Д. А., Суйменбаев Б. Т., Трушляков В. И. Повышение пожаровзрывобезопасности при эксплуатации отработавших ступеней ракет-носителей с жидкостными ракетными двигателями // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 30–42. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.30-42.

English

FIRE AND EXPLOSION SAFETY IMPROVEMENT DURING THE LAUNCH VEHICLE WORKED-OFF STAGES WITH LIQUID PROPULSION ENGINE OPERATION

SHATROV Ya. T., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department,
Central Research Institute of Machine Building (Pionerskaya St., 4, Korolev,
141070, Russian Federation; e-mail address: ozhigovaav@tsniimash.ru)

BARANOV D. A., Chief Designer for Launch Vehicles, Joint Stock Company "Space Rocket Centre Progress" (Zemetsa St., 18, Samara, 443009, Russian Federation; e-mail address: dimitri.baranov@samspace.ru)

SUIMENBAYEV B. T., Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Operation of Space Systems, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (Satpayeva St., 22a, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan; e-mail address: bts49@mail.ru)

TRUSHLYAKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor of Aircraft and Rocket Building Department, Omsk State Technical University (Mira Avenue, 11, Omsk, 644050, Russian Federation; e-mail address: vatrushluakov@yandex.ru)

ABSTRACT

The parts separating in flight, in particular worked-off stages with unused liquid propellant residues components in tanks is one of the major problems related to launch vehicles (LV) with liquid-propellant engines launches.

This problem results in:

a) the necessity of economic entities territories vast areas providing for the cosmodrome on a permanent or temporary basis, these areas being exposed to fire impact in case of the stage falling and explosion that in taiga impact areas results in problems arising when addressing a number of political, social, economic, organizational and technical issues (nowadays 19 millions hectares territory is allocated for impact areas in Russia, in 2015 Russia realized 29 LV launches with 86 worldwide);

b) potential risk for the functioning space systems because of the existence of the LV upper stages with unused propellant residues that remains in the insertion orbits and represent bulk explosive space debris (nowadays 1682 spent upper stages with a total weight of 2705 tons are orbiting the Earth, including 821 stages with a mass of 1189 tons are orbiting at an altitude up to 2000 km).

The above issues lead to the necessity of carrying out of the high-volume set of studies and design and construction works implemented by the engineers of LV aimed at the stages fire and explosion safety improvement in relevant areas of the environment. This complex of works includes works on propellant expenditure in tanks management algorithm developing, introducing separate propellant filling in tanks for each LV launch, works on propellant residues quantity in stages tanks reduction at the time of engine cutoff, the impact areas quantity and territories reducing, etc.

If there is an intensive launch program of advanced LV of "Angara", "Soyuz" families from Vostochny cosmodrome, the fire and explosion safety issues become more relevant in comparison with the similar problems arising on LV launches from Baikonur cosmodrome. This difference results from the fact that the impact areas of Baikonur cosmodrome are mostly situated in desert and steppe regions, while the impact areas of Vostochny cosmodrome are mostly situated in taiga forest regions with the high fire hazard. In addition, there is a requirement-strengthening tendency of international organizations to reduce pollution of near-Earth space environment protected areas based on the results of aerospace activities.

The proposed approach presupposes the abandoning a traditional approach to fire and explosion risk addressing. To solve the referred task, the technology of liquid propellant residues in stage tanks and feed lines almost total extraction is proposed on the basis of these residues convective gasification that practically solves the problem of fire and explosion safety, moreover, the obtained energy resources are targeted to improve launch vehicles performance characteristics including:

a) the increase of launched payload mass,
b) the range of placing orbits widening,
c) LV launch cost decreasing by means of amount of after launch work in the impact areas reduction (search, scrapping, storage, remove to stages fragments disposal places, work for soil neutralization, returning the territory to its original state).

The suggested technical solution for LV stages fire and explosion safety ensuring is realized by the installation of the active onboard de-orbiting system of the worked-off stages providing extra propellant reserves for getting by heat carriers (up to 15 % from the propellant residues in tanks mass), this system structure elements (up to 5 % from the mass of "dry" stage structure), the additional autonomous control system over the lower stage.

Keywords: fire and explosion safety; launch vehicle; worked-out stages; propellant residues; gasification; fall areas.

REFERENCES

1. *Rukovodstvo po organizatsii bezopasnoy ekspluatatsii kosmicheskikh sredstv rossiyskogo kosmicheskogo agentstva* (ROBEKS-99) [The guide for Russian Space Agency launch vehicles safe operation (GLVSO-99)]. Moscow, Russian Space Agency Publ., 1999. 195 p.
2. Adushkin V. V., Kozlov S. I., Petrov A. V. (eds). *Ekologicheskiye problemy i riski vozdeystviy raketno-kosmicheskoy tekhniki na okruzhayushchuyu prirodnuyu sredu* [The environmental problems and the risks of rocket-space technology impact on the natural environment]. Moscow, Ankil Publ., 2000. 640 p.
3. Kondratyev A. D., Krechetov P. P., Koroleva T. V. *Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti pri ekspluatatsii rayonov padeniya otdeyayushchikhsya chastey raket-nositeley* [The environmental safety ensuring of rocket-space activity]. Moscow, Pelican Publ., 2007. 80 p.
4. Shatrov Ya. T. *Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti raketno-kosmicheskoy deyatel'nosti. Chast 2: Ekonomicheskkiye i proizvodstvennyye aspekty. Ekologicheskyy monitoring. Metodicheskkiye podkhody, metodiki i rezultaty otsenok ekologicheskoy bezopasnosti sredstv vyvedeniya* [Providing ecological safety of rocket-space activities. Environmental monitoring. Methodological approaches, methods and results of launch vehicles ecological safety estimations]. Korolev, TsNIIMash Publ., 2010. Part 2, 222 p.
5. Russo M. *Kosmicheskaya ekologiya* [Space ecology]. Available at: http://polit.ru/article/2014/07/11/sk_space_debris (Accessed 14 February 2016).
6. Anselmo L., Pardini C. Ranking upper stages in low Earth orbit for active removal. *Acta Astronautica*, 2016, vol. 122, pp. 19–27. DOI: 10.1016/j.actaastro.2016.01.019.
7. Serdyuk V. K. *Proyektirovaniye sredstv vyvedeniya kosmicheskikh apparatov* [The launch vehicles launching methods designing]. A. A. Medvedev (ed.). Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2009. 504 p.
8. Bakhvalov Yu. O. (ed.), Bakhvalov Yu. O., Abrosimov Yu. V., Azarov A. V. et al. *Novyye podkhody k voprosam proyektirovaniya i eksperimental'noy otrabotki kosmicheskoy tekhniki* [The new approaches to the space technology design and experimental development issues]. *Nauchno-tekhnicheskkiye razrabotki KB "Salyut" 2012–2013 gg.* [Research and technology developments of design bureau "Salyut" 2012–2013]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2014, vol. 4, pp. 4–6.
9. Kurenkov V. I. *Osnovy proyektirovaniya raket-nositeley. Vybór osnovnykh proyektnykh kharakteristik i formirovaniye konstruktivnogo oblika* [The principles of launch vehicles design. The selection of the main design characteristics and the formation of the constructive concept]. Samara, Samara State Aerospace University Publ., 2011. 458 p.
10. Website of SpaceX. Available at: www.spacex.com (Accessed 13 February 2016).
11. Chernokul'skiy A. V., Mokhov I. I., Shkolnik I. M. *Risk požaroopasnosti v razlichnykh regionakh Rossii i yego vozmozhnyye izmeneniya v XXI veke po model'nykh raschetam* [The risk of fire hazard in different regions of Russia and its possible changes in the XXI century on the model calculations]. Available at: <http://www.myshared.ru/slide/361923> (Accessed 17 February 2016).
12. Kosmodrom "Vostochnyy" na karte, plany kosmodroma [Cosmodrome "Vostochnyy" on the map, plans to launch site]. Available at: <http://vostokdrom.ru/map> (Accessed 17 February 2016).
13. Kats A. L., Gusev V. L., Shabunina T. A. *Metodicheskkiye ukazaniya po prognozirovaniyu požarnoy opasnosti v lesakh po usloviyam pogody* [The methodology instructions for fire safety prediction in the forests based on the weather conditions]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 16 p.
14. Sherstyukov B. G. *Otsenki potentsial'noy gorimosti lesov v Rossii po mesyachnym meteorologicheskim dannym* [Assessing the potential flammability of forests in Russia using monthly meteorological data]. Available at: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/14_Sherstyukov_B_G.pdf (Accessed 14 February 2016).
15. Suimenbayev B. T. *Ekologicheskaya bezopasnost ekspluatatsii raketno-kosmicheskikh kompleksov* [The ecological safety of rocket-space systems operation]. Almaty, Giga Treyd Publ., 2009. 240 p.
16. *Razrabotka struktury i podgotovka iskhodnykh dannykh dlya bazy dannykh SEMK v sootvetstviy s trebovaniyami upolnomochennykh organov RK i RF* [The development of the structure and basic data preparation for CEMS database in accordance with the RK and RF authorities requirements]. Moscow, Science and Technology Center "Ekon-TsNIIMash" Publ., 2005.

17. Update of the IADC space debris mitigation guidelines. IADC-11-02. Beijing, 2014.
18. Gaykovich A. I. *Osnovy teorii proyektirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [The principles of the complex technical systems design theory]. St. Petersburg, Research Center MORINTECH Publ., 2001. 432 p.
19. Dixon John R. *Design engineering: inventiveness, analysis and decision making*. New York, McGraw-Hill, 1966. (Russ. ed.: Dikson Dzh. *Proyektirovaniye sistem: izobretatelstvo, analiz i prinyatiye resheniy*. Moscow, Mir Publ., 1969. 440 p.).
20. Patera R. P. et al. Controlled deorbit of the Delta IV upper stage for the DMSP-17 mission. *Proceedings of the 2nd IAASS Conference "Space Safety in a Global World"*, 14–16 May 2007. USA, Chicago, 2007.
21. Ariane-5. Data relating to Flight VA205 by Hugues Lanteri. Kourou, March, 2012. Available at: http://space-airbusds.com/media/document/flight-va205_atv3.pdf (Accessed 15 February 2016).
22. Takase K. et al. Successful demonstration for upper stage controlled re-entry experiment by H-IIB launch vehicle. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, 2011, vol. 48, no. 4, pp. 11–16.
23. Shatrov Ya. T., Baranov D. A., Trushlyakov V. I., Kudentsov V. Yu. *Opredeleniye napravleniy razrabotki metodov, tekhnicheskikh resheniy i sredstv snizheniya tekhnogennogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu dlya realizatsii na bortu kosmicheskikh sredstv vyvedeniya* [The definition of lines of methods development, technical solutions and means of technogenic impact reduction on environment: all to implement on-board space means of launch]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika S. P. Koroleva — Vestnik of the Samara State Aerospace University*, 2011, no. 1(25), pp. 38–49.
24. Trushlyakov V. I., Lempert D. B., Belkova M. E. Possibility of using gas-generating compositions for increasing the rocket propulsion efficiency. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2015, vol. 51, issue 3, pp. 326–332. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S0010508215030077>.
25. Makarov Yu., Shatrov Ya., Baranov D., Trushlyakov V. Self-contained onboard LV stage disposal system based on energy resources unexpended after space craft orbital insertion. *Proceedings of the 65th International Astronautical Congress*, 29 September – 30 October 2014. Canada, Toronto, 2014, IAC-14.A6.P.28.
26. Trushlyakov V. I., Kudentsov V. Yu., Shatrov Ya. T. *Sposob upravleniya raketami kosmicheskogo naznacheniya* [Method of controlling space rockets]. Patent RU, no. 2456217, 20.07.2012.
27. Lempert D. B., Trushlyakov V. I., Zarko V. E. Estimating the mass of a pyrotechnic mixture for burning the launch vehicle nose fairing. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 619–622. DOI: [10.1134/s0010508215050147](http://dx.doi.org/10.1134/s0010508215050147).
28. Dobrovolskiy M. V. *Zhidkostnyye raketnyye dvigateli. Osnovy proyektirovaniya* [Liquid propellant engines. The principles of design]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2005. 488 p.

For citation: Shatrov Ya. T., Baranov D. A., Suimenbayev B. T., Trushlyakov V. I. *Povysheniye požarovzryvbezopasnosti pri ekspluatatsii otrabotavshikh stupeney raket-nositeley s zhidkostnymi raketnymi dvigatelyami* [Fire and explosion safety improvement during the launch vehicle worked-off stages with liquid propulsion engine operation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 30–42. DOI: [10.18322/PVB.2016.25.04.30-42](http://dx.doi.org/10.18322/PVB.2016.25.04.30-42).

С. В. СЛЮСАРЕВ, адъюнкт кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: slyusarev91@inbox.ru)

Д. А. САМОШИН, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: inbox-d@mail.ru)

УДК 614.8-053.2

ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ДЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЙ С ИХ МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ

Рассмотрены проблемы обеспечения безопасной эвакуации самых маленьких и уязвимых членов нашего общества — детей с ограниченными возможностями. Проведен анализ научной литературы, позволивший разработать классификацию детей по группам мобильности. Осуществлены исследования процесса эвакуации детей с ограниченными возможностями в стационарных учреждениях социального обслуживания. В результате обработки эмпирических данных получены зависимости между параметрами их движения — скоростью, плотностью потока и эмоциональным состоянием. Показано, что полученные данные позволят повысить точность расчетных оценок уровня безопасности маломобильных детей, а также сформировать информационный массив для совершенствования нормативной базы в области нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях с их массовым пребыванием.

Ключевые слова: маломобильные дети; безопасность при пожаре; параметры поточного движения; расчетное время эвакуации; пожарный риск; стационарное учреждение социального обслуживания.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55

Введение

По данным “Всемирного отчета об инвалидности” [1] во всем мире насчитывается около 1 млрд. чел. с различными формами дисфункций организма, из них 150 млн. детей. По официальным данным [2] на 2014 г. в России зарегистрировано 580 тыс. детей-инвалидов и по разным оценкам от 1 до 2 млн. детей с ограниченными возможностями (т. е. детей, которые не признаны в установленном порядке инвалидами, но имеют постоянные или временные ограниченные возможности и нуждаются в мерах социальной защиты).

В связи с ратификацией в 2008 г. конвенции о правах инвалидов [3] создание качественной архитектурной среды в зданиях с их пребыванием является приоритетной задачей нашего государства. Такая среда должна отвечать четырем критериям: доступности, безопасности, информативности и комфорта. Однако до настоящего времени вопросы обеспечения пожарной безопасности в зданиях с пребыванием маломобильных детей остаются непроработанными. Например, несмотря на очевидную разницу между детьми с ограниченными возможностями и их сверстниками без таких ограничений, а также инвалидами трудоспособного возраста и

престарелыми людьми СП 1.13130.2009 [4] предъявляет однотипные требования к эвакуационным путям и выходам в зданиях с их пребыванием, так как относит такие здания к одному классу функциональной пожарной опасности Ф1.1. Неадекватная защита детей с ограниченными возможностями в зданиях стационарных учреждений социального обслуживания приводит к трагедиям, а риск гибели Q_v на пожаре за последние годы колебался от $86,96 \cdot 10^{-6}$ до $333,3 \cdot 10^{-6}$ чел./год (табл. 1).

Несмотря на очевидную уязвимость детей с ограниченными возможностями, ни в России, ни за рубежом масштабных исследований процесса их эвакуации не проводилось.

Одни из первых работ по эвакуации маломобильных групп населения в нашей стране относятся к концу 90-х годов прошлого века [5–7]. Полученные в этих исследованиях результаты легли в основу первые разработанного в нашей стране документа [8] и его актуализированной редакции [9]. Дальнейшие исследования людских потоков, состоящих из людей различного возраста и физического состояния, позволили впервые установить параметры их движения и другие особенности эвакуации и спасения детей дошкольного возраста [10], людей пожилого

Таблица 1. Статистические данные по количеству детей, проживающих в стационарных учреждениях, и количеству детей, погибших при пожаре, за период 2009–2012 гг.

Показатель	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Численность детей, чел.	22000	24000	23000	22000
Количество погибших детей, чел.	6	8	2	6
Риск гибели Q_v	$272,7 \cdot 10^{-6}$	$333,3 \cdot 10^{-6}$	$86,96 \cdot 10^{-6}$	$272,7 \cdot 10^{-6}$

возраста [11] и инвалидов трудоспособного возраста по зрению и слуху [12]. Причем отечественные работы в этой области были опубликованы и за рубежом [13, 14]. Тем не менее проведенный анализ показал, что проблемы детей-инвалидов остались вне исследовательской проблематики (рис. 1).

В 2002 г. в Великобритании был представлен отчет “Контроль травматизма и повышение уровня безопасности”, в котором были определены приоритеты при обеспечении безопасности детей в странах Европейского союза, и разработана программа действий в этом направлении [15]. Важное место в нем отводится борьбе с пожарами. Это связано с тем, что в Европе они занимают 3-е место среди основных причин гибели детей, находящихся в группе повышенного риска [16], уступая лишь дорожно-транспортным происшествиям и происшествиям на водоемах.

Однако анализ опубликованных за рубежом результатов позволяет сделать вывод, что исследования в этой области проводятся в очень ограниченном объеме [17–21]. Одной из немногочисленных работ является диссертация, посвященная проблемам эвакуации детей из детских образовательных учреждений [21]. Исследуя время начала эвакуации, автор указывает на решающую роль персонала

и отмечает, что время начала эвакуации для маленьких детей гораздо больше, чем для более старших. Анализ скоростей движения детей показал, что лишь к 12 годам скорость их движения (в том числе по лестнице) соответствует скорости взрослого человека. В 2014 г. была выполнена работа, посвященная вопросу эвакуации детей из зданий школ [20]. Здесь впервые удалось получить экспериментальные данные по времени начала эвакуации $t_{н.з}$ в подобных учреждениях. Установлено, что это время для школ формируется примерно так же, как и для детских дошкольных учреждений (ДООУ) [10], и зависит от времени подготовки детей к эвакуации $t_{под}$ и времени нахождения детей в зоне ожидания $t_{нз}$. В случае аварийной ситуации детей независимо от возраста необходимо собрать в одну общую группу и организованно, по команде, во главе с преподавателем начать движение к выходу наружу из здания. Параметры движения детей школьного возраста при эвакуации исследованы в работах [22, 23].

Кроме того, в отдельных публикациях вопросы обеспечения безопасности детей с ограниченными возможностями при возникновении чрезвычайной ситуации рассматриваются во многом фрагментарно [25]. Основной проблемой в работе [26] названо то, что детей с ограниченными возможностями часто не включают в превентивные планы по борьбе с чрезвычайной ситуацией, что ведет к недостаточной эффективности мер, направленных на их спасение.

Следует отметить, что в работах [24–27] освещаются вопросы обеспечения безопасности детей с ограниченными возможностями при наводнении или землетрясении, когда возможна организация превентивной (заблаговременной) эвакуации, но не рассматриваются проблемы пожарной безопасности.

Таким образом, проведенный анализ нормативных требований и исследований как отечественных, так и зарубежных ученых позволил заключить, что главной и нерешенной проблемой остается отсутствие количественных данных по интенсивности q_D и скорости V_D движения маломобильных детей при различной плотности людского потока D , а также отсутствие дифференцированного учета влияния причин потери мобильности детей. Это не позволяет проводить расчетные оценки пожарных рисков и устанавливать научно обоснованные требования к размерам эвакуационных путей и выходов в зданиях

**Рис. 1.** Исследования мобильных и маломобильных групп населения

с их массовым пребыванием, что предопределяет необходимость проведения специальных исследований, направленных на выявление особенностей эвакуации маломобильных детей.

Организация и методика проведения экспериментальной работы

Анализ различных источников и опросов специалистов в области социальной защиты инвалидов показал, что маломобильные дети могут находиться в зданиях совершенно различного функционального назначения, посещая в среднем 3–4 раза в месяц мероприятия, проводимые в зрелищных, культурно-просветительских учреждениях и спортивных сооружениях, а также регулярно — больницы и поликлиники. В связи с внедрением инклюзивного образования, основанного на организации совместного процесса обучения детей независимо от их физических, интеллектуальных, психических или иных особенностей, возрастает вероятность пребывания их в общеобразовательных организациях. Тем не менее самыми востребованными остаются специализированные учреждения для постоянного и временного пребывания детей с ограниченными возможностями, поэтому именно в таких зданиях и проводились эксперименты. В зависимости от вида дисфункций организма и его влияния на процесс эвакуации была разработана классификация маломобильных детей (рис. 2), на основе которой оценивались параметры их движения.

Исследования проводились в период с 2013 по 2015 гг. в специализированных стационарных учреждениях с постоянным и временным пребыванием детей в возрасте от 4 до 18 лет в различных городах нашей страны (Москва, Сергиев Посад, Нижний Ломов, Биробиджан). Фрагменты экспериментов по эвакуации детей с ограниченными возможностями представлены на рис. 3.

Для получения необходимых данных по количественным характеристикам движения маломобильных детей, способных к самостоятельной эвакуации (особенности эвакуации немобильных людей рассмотрены в работе [11]), и определения других качественных особенностей данного процесса использовался метод киносъемки [28, 29]. Предварительно в каждом здании выбирались необходимые для исследования виды пути: горизонтальные пути, проемы, лестницы вверх и вниз. На выбранных участ-

ках пути устанавливались видеорегистраторы таким образом, чтобы они охватывали максимальную площадь рассматриваемых участков пути с минимальными перспективными искажениями. Далее на них накладывалась масштабная сетка с размером ячейки 1×1 м. Выполнив контрольный кадр участка, ее убрали, чтобы не мешать процессу эвакуации.

Завершив экспериментальную часть работы, проводили анализ полученных данных. С этой целью на персональном компьютере редактировалась и преобразовывалась в нужный формат с помощью программного обеспечения “Freemake Video Converter” исходная видеозапись. Далее с помощью программного средства “Screen Marker” на мониторе вычерчивался контур масштабной сетки. Фрагмент записи с масштабной сеткой накладывался на видеозапись движения людского потока по выбранному участку пути. Пример обработки видеозаписи представлен на рис. 4.

В ходе дальнейшего покадрового просмотра подготовленной таким образом видеозаписи отмечался момент входа ребенка в зону исследуемого участка (т. е. ячейки) и рассчитывалось количество находящихся перед ним людей для определения плотности потока D (чел./м²) по формуле

$$D = N / (b \Delta l), \quad (1)$$

где N — количество людей в потоке на исследуемом участке пути;

b — ширина потока (принимается равной ширине исследуемого участка пути), м;

Δl — длина потока (длина участка пути), м.

Затем фиксировалось время Δt (с) прохождения участка длиной $\Delta l = 1$ м, определяемое по формуле

$$\Delta t = \frac{n_{\text{кадр}}^{\text{общ}}}{v} = \frac{n_{\text{вых}} - n_{\text{вх}}}{v}, \quad (2)$$

где $n_{\text{кадр}}^{\text{общ}}$ — общее количество кадров, на которых ребенок проходит исследуемый участок пути;

v — кадровая частота видеозаписывающего устройства, кадров в секунду;

$n_{\text{вых}}$ — номер кадра, на котором ребенок выходит из рассматриваемого участка пути;

$n_{\text{вх}}$ — номер кадра, на котором ребенок входит на рассматриваемый участок пути.

Далее в зависимости от общего числа кадров n , на которых ребенок находился в пределах ячейки, определялась скорость его движения V_D (м/мин)

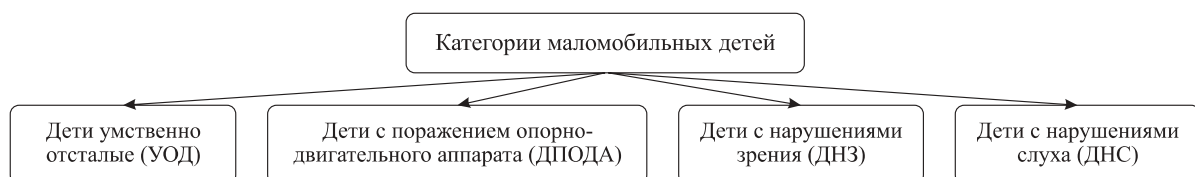


Рис. 2. Классификация маломобильных детей по типу инвалидности

в установленном интервале плотности потока по формуле

$$V_D = 60 \sum_1^n \Delta l / \sum_1^n \Delta t. \quad (3)$$

После того как рассматриваемый ребенок вышел из зоны наблюдения, выбирали следующего ребенка в потоке и по той же методике продолжали дальнейшую обработку данных.



Рис. 3. Процесс эвакуации детей с ограниченными возможностями: а — ДНС; б — УОД; в — ДНЗ; г — ДПОДА



Рис. 4. Анализ полученных видеоматериалов на различных участках пути: а — лестница вниз; б — горизонтальный путь; в — дверной проем

Единственным исключением являлся дверной проем, так как его длина Δl практически равна нулю. В этом случае подсчитывали число детей $N_{\Delta t}$, проходящих через него за интервал времени Δt , величина которого определялась продолжительностью существования перед границей проема потока определенной плотности D . Имея в распоряжении эти параметры, сначала определяли интенсивность движения q_D (чел./м·мин) через проем шириной δ (м) при наблюдаемой плотности потока D перед ним в течение интервала времени Δt по формуле

$$q_D = N_{\Delta t} / (\delta \Delta t). \quad (4)$$

Затем рассчитывали скорость V_D перехода через границу проема при плотности потока D :

$$V_D = q_D / D. \quad (5)$$

Таким образом было получено 3791 значение замеров параметров движения (табл. 2).

Далее полученный в ходе экспериментов эмпирический материал необходимо было сгруппировать по классификационным факторным признакам (плотность, группа мобильности, тип пути). Для этого проводилась первичная статистическая обработка результатов экспериментов с использованием компьютерных программ для статистического анализа SPSS Software “Statistical Package for the Social Sciences” и Microsoft Excel 2013. Полученные параметры скорости движения детей V (м/мин) были сгруппированы в возрастающем порядке, образуя непрерывные вариационные ряды для каждого интервала плотности D .

Затем выполнялась проверка гипотезы о нормальном распределении выборочных совокупностей с помощью математических критериев в зависимости от численности вариационных рядов. Так как все исследования проходили в различное время и в разных учреждениях, проводилась оценка достоверности анализируемых данных. Для этого проверялась гипотеза о статистической значимости различий между сравниваемыми эмпирическими выборочными совокупностями [30]. После этого все анализируемые параметры были систематизированы и сведены в статистические таблицы для каждой группы

Таблица 2. Количество замеров параметров движения детей с ограниченными возможностями по различным видам пути

Вид пути	Тип детей			
	УОД	ДПОДА	ДНС	ДНЗ
Горизонтальный путь	420	174	292	309
Лестница вверх	230	205	227	296
Лестница вниз	149	336	255	255
Дверной проем	187	232	167	57

детей,двигающихся по различным участкам пути. В качестве примера в табл. 3 и 4 представлены данные по параметрам движения детей с поражением опорно-двигательного аппарата (без дополнительных опор, с одной или двумя дополнительными опорами и на ходунках).

Полученные таким образом статистические данные после первичной обработки легли в основу анализа наблюдаемой зависимости между результативным (скорость) и факторным (плотность людского потока) признаками [31].

Таблица 3. Скорость движения детей с поражением опорно-двигательного аппарата по горизонтальным путям и по лестницам

Вид пути	Интервал плотности D , чел./м ²	Количество наблюдений n	Математическое ожидание скорости $m(V)$, м/мин	Среднеквадратическое отклонение $\sigma(V)$, м/мин	Граница 95 %-ного доверительного интервала	
					нижняя	верхняя
Горизонтальный	0–1	111	50,59	19,76	46,91	54,26
	1–2	51	39,96	12,85	36,43	43,49
	2–3	8	32,26	5,74	27,46	35,07
	3–4	4	27,89	1,19	21,45	30,33
Лестница вверх	0–1	87	22,94	13,24	20,16	25,72
	1–2	45	16,54	6,98	14,50	18,58
	2–3	44	13,11	4,36	11,82	14,40
	3–4	20	10,77	3,08	9,42	12,12
	4–5	6	8,38	1,99	6,79	9,97
	5–6	3	6,12	0,13	5,97	6,27
Лестница вниз	0–1	152	25,33	11,41	23,52	27,14
	1–2	94	20,93	6,80	19,56	22,30
	2–3	60	17,81	5,62	16,39	19,23
	3–4	25	15,84	3,96	14,29	17,39
	4–5	10	13,97	2,20	12,04	15,90

Таблица 4. Средние значения интенсивности движения через проем детей с ПОДА

Интервал плотности D , чел./м ²	Количество наблюдений n	Среднее значение интенсивности q , чел./м·мин
1–2	38	47
2–3	32	65
3–4	25	72
4–5	32	81
5–6	28	94
6–7	20	100
7–8	23	111
8–9	19	95
9–10	15	79

Определение зависимости скорости движения маломобильных детей от плотности людского потока

В теории движения людских потоков зависимость скорости движения V_{Dj} от плотности людского потока описывается в общем случае формулой

$$V_{Dj} = V_{0j} (1 - R_j), \quad (6)$$

где V_{0j} — случайная величина скорости свободного движения людского потока по j -му виду пути, когда плотность потока не оказывает на нее влияния, м/мин;

R_j — функция, отображающая степень (силу) влияния внешнего фактора на сенсорную систему человека, формирующую интенсивность реакции (в данном случае скорости движения) человека.

Для определения вида этой зависимости при движении детей с ограниченными возможностями по результатам экспериментальных данных строились эмпирические функции $\bar{R}_{Dj} = f(D)$ для каждого интервала плотности потока, вида пути и типа инвалидности детей:

$$\bar{R}_{Dj} = \frac{\Delta V_{Dj}}{V_{0j}} = \frac{m(V_{0j}) - m(V_{Dj})}{m(V_{0j})}, \quad (7)$$

где $m(V_{0j})$ — математическое ожидание скорости свободного движения в интервале плотности потока 0–1 чел./м²;

$m(V_{Dj})$ — математическое ожидание скорости движения в интервале плотности потока, для которого определяется степень влияния внешнего фактора на сенсорную систему человека.

После этого проводилась аппроксимация зависимости (7) теоретической зависимостью $R_{Dj}^T = f(D)$, описываемая логарифмическим выражением ранее установленного вида [32] на основе психофизического закона Вебера–Фехнера:

$$R_{Dj}^T = a_j \ln(D_i/D_{0j}), \quad (8)$$

где a_j — эмпирический коэффициент, отражающий интенсивность воздействия плотности потока при движении по j -му виду пути;

D_i — значение плотности людского потока, при котором определяется R_{Dj}^T ;

D_{0j} — пороговое значение плотности потока, по достижении которого она начинает ощущаться как воздействующий на скорость фактор при движении по j -му виду пути.

Значения коэффициента a_j и плотности D_{0j} определялись методами средних и наименьших квадратов при помощи программного обеспечения “Microsoft Office Excel”. О корректности проведенной аппроксимации свидетельствует нахождение теоретической кривой в 95 %-ном доверительном интервале,

а также то, что максимальное отклонение теоретических значений R_{Dj}^T от эмпирических $\bar{R}_{Dj}$ не превышает 10 %. Пример аппроксимации $R_j = f(D)$ для умственно отсталых детей при движении по горизонтальным участкам проиллюстрирован на рис. 5. Значения a_j и D_{0j} для исследованных групп маломобильных детей при движении по различным видам пути приведены в табл. 5.

Оценка степени влияния факторного признака D на вариацию результирующего признака R_j (т. е. измерение тесноты связи между ними) позволила получить значения теоретического корреляционного

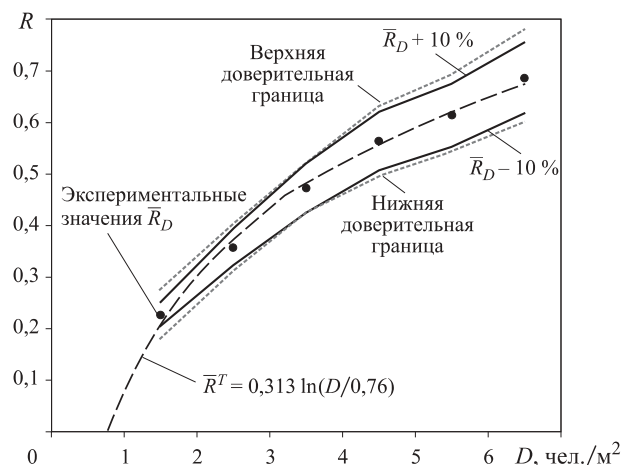


Рис. 5. Аппроксимация зависимости $R = f(D)$ для умственно отсталых детей при движении по горизонтальным участкам пути

Таблица 5. Значения a_j и D_{0j} при движении детей различной мобильности по разным видам пути в стационарных учреждениях

Вид пути	Группа маломобильных детей	a_j	D_{0j} , чел./м ²
Горизонтальный	УОД	0,313	0,76
	ДПОДА	0,329	0,79
	ДНЗ	0,291	0,78
	ДНС	0,271	0,67
Лестница вверх	УОД	0,343	0,75
	ДПОДА	0,343	0,69
	ДНЗ	0,295	0,69
	ДНС	0,345	0,74
Лестница вниз	УОД	0,295	0,69
	ДПОДА	0,247	0,75
	ДНЗ	0,282	0,75
	ДНС	0,246	0,69
Дверной проем	УОД	0,288	0,67
	ДПОДА	0,342	0,88
	ДНЗ	0,430	0,96
	ДНС	0,347	0,95

отношения $\eta_T \geq 0,95$, которые определяют установленную связь практически как функциональную. Это свидетельствует о наличии сильной корреляционной связи между скоростью движения детей с ограниченными возможностями и плотностью и о корректном выборе вида теоретической зависимости.

Определение зависимости скорости движения маломобильных детей от их эмоционального состояния

Для нахождения зависимости скорости V_0 (м/мин) свободного движения маломобильных детей от степени психологической напряженности, выраженной показателем отрицательного эмоционального состояния Ξ , использовалась статистическая теория распределения крайних членов выборки [33], которая нашла свое применение в теории людских потоков [10, 31, 34].

Отбор максимальных значений V_n из выборочных совокупностей в интервале плотности $D = 0 \div 1$ чел./м² проводился из условия $V_n > \bar{V} + 1,5\sigma$ (где $\bar{V}$ — математическое ожидание скоростей в выборке, м/мин; σ — стандартное отклонение). Такой отбор показал, что у детей с поражением опорно-двигательного аппарата, нарушением зрения, а также у умственно отсталых детей такие скорости отсутствуют. Это связано с особенностями их заболеваний, осложняющих процесс их движения, и, как следствие, со снижением вариабельности скоростей во всех диапазонах плотности потока. Исключением являются дети с нарушением слуха. На основе сформированного массива значений V_n в соответствии с методикой, предложенной проф. В. В. Холщевниковым [31], были получены зависимости, связывающие средние скорости свободного движения по различным видам пути и уровень эмоционального состояния людей (рис. 6):

$$V_0^{\Xi} = 35,62 - 4,08 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\Xi)]; \quad (9)$$

$$V_0^{\Xi} = 25,98 - 3,41 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\Xi)]. \quad (10)$$

Данные уравнения позволяют построить графики прогнозируемых средних значений скорости движения детей с нарушением слуха по горизонтальным путям и через проемы (9), а также по лестницам вверх и вниз (10) в зависимости от вероятного наблюдаемого уровня эмоционального состояния.

В результате были получены численные характеристики скорости свободного движения для различных категорий движения детей с нарушением слуха по различным участкам пути (табл. 6).

Для расчета времени эвакуации детей с нарушением слуха следует принимать средние значения из диапазона значений для категории повышенной активности, т. е. $V_0 = 59,88$ м/мин при движении по

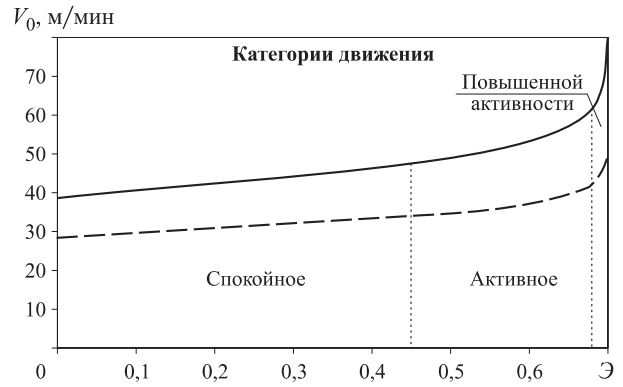


Рис. 6. Зависимость скорости свободного движения детей с нарушением слуха от степени психологической напряженности ситуации: — горизонтальный путь, проем, лестница вверх; - - - - - лестница вниз

горизонтальному пути, лестнице вверх, через проем и $V_0 = 46,28$ м/мин — по лестнице вниз.

Параметры скорости свободного движения для остальных групп детей представлены в табл. 7.

На основании проведенной статистической обработки и теоретического обобщения эмпирического материала выведены зависимости (рис. 7 и 8), отражающие влияние эмоционального состояния детей и плотности потока на скорость и интенсивность движения маломобильных детей по различным участкам пути.

Следует отметить, что в рамках проведенного исследования были выявлены определенные индивидуальные особенности маломобильных детей [35], которые, несомненно, позволят точнее воспроизводить

Таблица 6. Скорости свободного движения для ДНЗ по видам пути при различных категориях движения

Категория движения	V_0 , м/мин, по участкам пути	
	Горизонтальный путь, проем, лестница вверх	Лестница вниз
Комфортное	Менее 35,62	Менее 25,98
Спокойное	35,62–42,88	25,98–32,05
Активное	42,88–53,72	32,05–41,13
Повышенной активности	53,72–66,04	41,13–51,44

Таблица 7. Скорости свободного движения для УОД, ДПОДА, ДНЗ по различным видам пути при разных категориях движения

Группа маломобильных детей	Скорость свободного движения V_0 , м/мин, по участкам пути			
	Горизонтальный путь	Проем	Лестница вверх	Лестница вниз
УОД	52,26	48,91	44,32	33,31
ДПОДА	50,59	46,82	22,94	25,33
ДНЗ	41,26	41,61	36,83	28,70

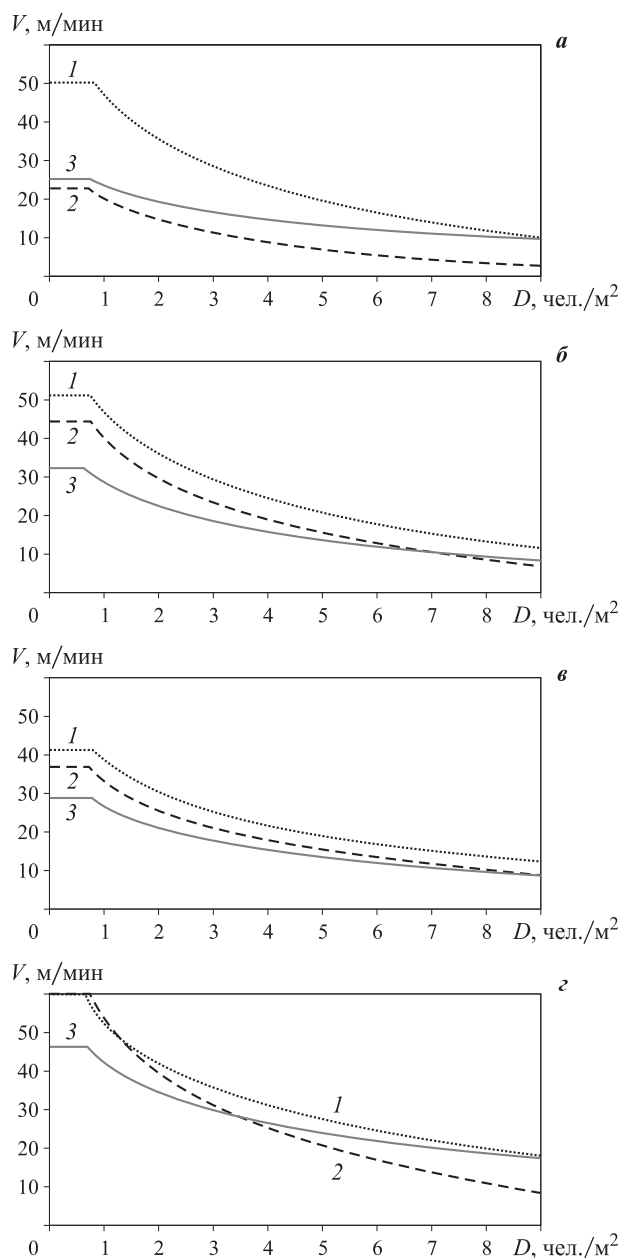


Рис. 7. Зависимость скорости движения ДПОДА (без опор, с одной или двумя опорами, на ходунках) (а), УОД (б), ДНЗ (в) и ДНС (г) от плотности потока по различным видам пути: 1 — горизонтальный путь; 2 — лестница вверх; 3 — лестница вниз

дить качественную картину процесса эвакуации в зданиях с их массовым пребыванием с применением расчетных методов.

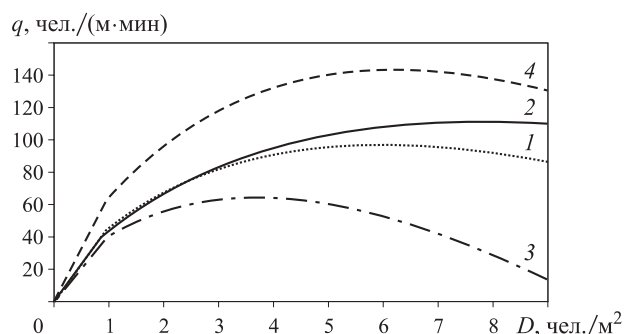


Рис. 8. Зависимость интенсивности движения детей различной мобильности от плотности потока через проемы: 1 — ДПОДА; 2 — УОД; 3 — ДНЗ; 4 — ДНС

Заключение

Для обеспечения пожарной безопасности детей с ограниченными возможностями необходимо знать параметры их движения при эвакуации, однако ранее такие данные отсутствовали. В связи с этим возникла потребность в проведении масштабных экспериментальных исследований в этом направлении. Результаты этих исследований дали возможность решить следующие научные задачи:

- разработать классификацию маломобильных детей с учетом особенностей их эвакуации: умственно отсталые дети, дети с поражением опорно-двигательного аппарата, дети с нарушением зрения и дети с нарушением слуха;
- установить закономерности связи скорости и интенсивности движения детей в зависимости от плотности людского потока на различных участках пути;
- установить закономерности связи эмоционального состояния и скорости движения маломобильных детей;
- определить скорости свободного движения в процессе эвакуации детей с нарушением слуха по каждому виду пути при различных категориях движения.

Полученные данные позволяют повысить точность расчетных оценок (расчетов времени эвакуации и величины пожарного риска), а также сформировать информационный массив для совершенствования нормативной базы в области нормирования размеров эвакуационных путей и выходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World report on disability. — Geneva : World Health Organization, 2011. — 325 p.
2. Российский статистический ежегодник. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_13/Main.htm (дата обращения: 23.11.2015).
3. Конвенция о правах инвалидов. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/disability.shtml (дата обращения: 23.11.2015).
4. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 43 с.

5. Кирюханцев Е. Е., Холицевников В. В., Шурин Е. Т. Первые экспериментальные исследования движения инвалидов в общем потоке // Безопасность людей при пожарах : сб. статей. — М. : ВИПТШ МВД РФ, 1999. — С. 25–31.
6. Шурин Е. Т., Анаков А. В. Выделение групп населения по мобильным качествам и индивидуальное движение в людском потоке как основа моделирования движения “смешанных” людских потоков при эвакуации // Проблемы пожарной безопасности в строительстве : сб. статей. — М. : Академия ГПС МВД России, 2001. — С. 36–42.
7. Шурин Е. Т., Самошин Д. А. Результаты экспериментов по определению некоторых параметров эвакуации немобильных людей при пожаре // Системы безопасности : 10-я науч.-техн. конф. — М. : Академия ГПС МВД РФ, 2001. — С. 114–117.
8. СНИП 35-01–2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. — Введ. 01.09.2001. — М. : ГУП ЦПП, 2001. — 32 с.
9. СП 59.13330.2012 (актуализированная ред. СНИП 35-01–2001). Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. — Введ. 01.01.2013. — М. : ФАУ ФЦС, 2011. — 58 с.
10. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 153 с.
11. Истратов Р. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2014. — 160 с.
12. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. — 210 с.
13. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions // Fire and Materials. — 2012. — Vol. 36, No. 5-6. — P. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
14. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation // Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire. — UK, Cambridge, 2009. — P. 243–254.
15. Vicenten J., Michalsen A. Priorities for child safety in the European Union: Agenda for action // Injury Control and Safety Promotion. — 2002. — Vol. 9, No. 1. — P. 1–8. DOI: 10.1076/icsp.9.1.1.3326.
16. Gwynne S. M. V. Optimizing fire alarm notification for high-risk groups : summary report // Research Report for the Fire Protection Research Foundation. — USA, Quincy : National Fire Protection Association, 2007.
17. Aydn Ozkay. A qualitative approach to children of developing countries from human behavior point of view // Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behavior in Fire, 26–28 March 2001. — USA, Massachusetts, 2001. — P. 531–538.
18. Bruck D., Tomas I. R. Community-based research on the effectiveness of the home smoke alarm in waking up children // Fire and Materials. — 2011. — Vol. 36, No. 5-6. — P. 339–348. DOI: 10.1002/fam.1081.
19. Lárusdóttir A. R., Dederichs A. S. Evacuation of children: Movement on stairs and on horizontal plane // Fire Technology. — 2012. — Vol. 48, No. 1. — P. 43–53. DOI: 10.1007/s10694-010-0177-6.
20. Cuesta A., Gwynne S. M. V. The collection and compilation of school evacuation data for model use // Safety Science. — 2016. — Vol. 84. — P. 24–36. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.11.003.
21. Lárusdóttir A. R., Dederichs A., Nilsson D. Evacuation of children: Focusing on daycare centers and elementary schools. — Denmark, Reykjavik : Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 2014. — 158 p.
22. Полоз Д. А. Методика определения расчетного времени эвакуации неоднородных людских потоков из зрительных залов : дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 2010. — 156 с.
23. Ерёмченко М. А. Движение людских потоков в школьных зданиях : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1978. — 186 с.
24. Ronoh S., Gaillard J. C., Marlowe J. Children with disabilities and disaster risk reduction: A review // International Journal of Disaster Risk Science. — 2015. — Vol. 6, No. 1. — P. 38–48. DOI: 10.1007/s13753-015-0042-9.
25. Peek L., Stough L. M. Children with disabilities in the context of disaster: A social vulnerability perspective // Child Development. — 2010. — Vol. 81, No. 4. — P. 1260–1270. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2010.01466.x.
26. Andreou Y., McCall S. Using the voice of the child who is blind as a tool for exploring spatial perception // British Journal of Visual Impairment. — 2010. — Vol. 28, No. 2. — P. 113–129. DOI: 10.1177/0264619609360285.

27. Tanaka S. Issues in the support and disaster preparedness of severely disabled children in affected areas // Brain and Development. — 2013. — Vol. 35, No. 3. — P. 209–213. DOI: 10.1016/j.braindev.2012.09.008.
28. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 191 с.
29. Холщевников В. В. Влияние методов натурных наблюдений на определение числовых характеристик закона распределения расчетной величины скорости людского потока // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 71–80.
30. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие. — М. : Высшая школа, 2003. — 479 с.
31. Холщевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1983. — 486 с.
32. Холщевников В. В. Закономерность связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
33. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений. — М. : Наука, 1969. — 512 с.
34. Кудрин И. С. Выявление параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2013. — 190 с.
35. Самошин Д. А., Слюсарев С. В. Особенности индивидуального движения людей различной мобильности в общем потоке эвакуируемых из здания при пожаре // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 3(61). — С. 121–131.

Материал поступил в редакцию 14 февраля 2016 г.

Для цитирования: Слюсарев С. В., Самошин Д. А. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.

English

PARAMETERS OF THE MOVEMENT CHILDREN WITH LIMITED MOBILITY FOR DEFINITION OF AN EVACUATION TIME ESTIMATE FROM BUILDINGS WITH THEIR MASS STAY

SLYUSAREV S. V., Postgraduate Student of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: slyusarev91@inbox.ru)

SAMOSHIN D. A., Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: inbox-d@mail.ru)

ABSTRACT

In the article it is formulated problem of ensuring safe evacuation of children with limited mobility, from the standard and research points of view. Provisions of the existing normative documents, despite an essential difference between children with limited opportunities and their peers without restrictions, and disabled people of working-age and aged people, define identical requirements to evacuation ways and exits in buildings with their stay as they belong to one functional fire-hazard class F1.1. Analysis of a problem from the research point of view has shown that features of process of evacuation of handicapped children in our country are almost not studied. At the same time, the review of foreign works has shown that in the countries of Europe and USA the close attention is paid of safety of the children's population in various emergencies, especially at the fires as they take the 3rd place among the main reasons for death of children, after road accidents, and incidents on reservoirs. However it should be noted that all works which are carried out in this area allow to solve a problem of safety of children with limited mobility at the fire partially as there are no quantitative data about evacuation process, in particular about parameters of their movement.

Therefore researches in residential social service institution with children of various groups of mobility on the proven methodology have been conducted. Received and in a consequence statistically processed empirical material has been used for determination of dependences of speed of the movement of children with limited mobility on density of a human flow and from their emotional state. As a result there were obtained numerical characteristics of coefficients of a_j and D_{0j} , and parameters of speed of the free movement V_0 for the studied groups of children on different types of a way, that will allow to carry out fire risk assessment and to establish the scientifically based sizes to evacuation ways and exits in buildings with their mass stay.

Keywords: children with limited mobility; safety at the fire; parameters of the movement of a human flow; evacuation time estimate; fire risk; residential social service institution.

REFERENCES

1. *World Report on Disability*. Geneva, World Health Organization, 2011. 325 p.
2. *Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik* [Russian statistics digest]. Available at: http://www.gks.ru/bgd/regl/b13_13/Main.htm (Accessed 23 November 2015).
3. *Konventsia o pravakh invalidov* [The United Nations Convention on Rights of Persons with Disabilities]. Available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/disability.shtml (Accessed 23 November 2015).
4. *Set of rules 1.13130.2009. The systems of fire protection. Evacuation ways and exits*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 43 p. (in Russian).
5. Kiryukhantsev E. E., Kholshchevnikov V. V., Shurin E. T. Pervyye eksperimentalnyye issledovaniya dvizheniya invalidov v obshchem potoke [First pilot study of the movement of persons with disabilities in the general stream]. *Bezopasnost lyudey pri pozharakh* [The safety of people during fires]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Publ., 1999, pp. 25–31.
6. Shurin E. T., Apakov A. V. Vydeleniye grupp naseleniya po mobilnym kachestvam i individualnoye dvizheniye v lyudskom potoke kak osnova modelirovaniya dvizheniya “smeshannykh” lyudskikh potokov pri evakuatsii [The selection of population groups through mobile qualities and individual movement in the human stream as the basis of simulation of the movement “mixed” people flows during evacuation]. *Problemy pozharной bezopasnosti v stroitelstve: sb. statey* [Problems of fire safety in construction. Collection of articles]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Publ., 2001, pp. 36–42.
7. Shurin E. T., Samoshin D. A. Rezultaty eksperimentov po opredeleniyu nekotorykh parametrov evakuatsii nemobilnykh lyudey pri pozhare [Results of experiments on defining some of the parameters evacuation immobile people in case of fire]. *Sistemy bezopasnosti: 10-ya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Safety Systems. 10th Scientific and Technical Conference]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Publ., 2001, pp. 114–117.
8. *Construction norms and regulations 35-01-2001. Accessibility of buildings and structures for physically handicapped persons*. Moscow, Center of Design Production in Construction Publ., 2001. 32 p. (in Russian).
9. *Set of rules 59.13130.2012. Accessibility of buildings and structures for persons with disabilities and persons with reduced mobility*. Moscow, Federal Scientific and Technological Center of Certification in Construction Publ., 2011. 58 p. (in Russian).
10. Parfenenko A. P. *Normirovaniye trebovaniy pozharной bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v zdaniyakh detskikh doskolnykh obrazovatelnykh uchrezhdeniy: dis. kand. tekhn. nauk* [Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in daycare centers. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 153 p.
11. Istratov R. N. *Normirovaniye trebovaniy pozharной bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v statsionarakh sotsialnykh uchrezhdeniy po obsluzhivaniyu grazhdan pozhilogo vozrasta: dis. kand. tekhn. nauk* [Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in residential social service institution for the aged. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2014. 160 p.
12. Samoshin D. A. *Sostav lyudskikh potokov i parametry ikh dvizheniya pri evakuatsii* [Structure of human flows and parameters of their movement at evacuation]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016. 210 p.

13. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, no. 5-6, pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
14. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire*. UK, Cambridge, 2009, pp. 243–254.
15. Vicenten J., Michalsen A. Priorities for child safety in the European Union: Agenda for action. *Injury Control and Safety Promotion*, 2002, vol. 9, no. 1, pp. 1–8. DOI: 10.1076/icsp.9.1.1.3326.
16. Gwynne S. M. V. Optimizing fire alarm notification for high-risk groups: summary report. *Research Report for the Fire Protection Research Foundation*. USA, Quincy, National Fire Protection Association, 2007.
17. Aydn Ozkay. A qualitative approach to children of developing countries from human behavior point of view. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behavior in Fire*, 26–28 March 2001. USA, Massachusetts, 2011, pp. 531–538.
18. Bruck D., Tomas I. R. Community-based research on the effectiveness of the home smoke alarm in waking up children. *Fire and Materials*, 2011, vol. 36, no. 5-6, pp. 339–348. DOI: 10.1002/fam.1081.
19. Lárusdóttir A. R., Dederichs A. S. Evacuation of children: Movement on stairs and on horizontal plane. *Fire Technology*, 2012, vol. 48, no. 1, pp. 43–53. DOI: 10.1007/s10694-010-0177-6.
20. Cuesta A., Gwynne S. M. V. The collection and compilation of school evacuation data for model use. *Safety Science*, 2016, vol. 84, pp. 24–36. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.11.003.
21. Lárusdóttir A. R., Dederichs A., Nilsson D. *Evacuation of children: Focusing on daycare centers and elementary schools*. Denmark, Reykjavik, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 2014. 158 p.
22. Poloz D. A. *Metodika opredeleniya raschetnogo vremeni evakuatsii neodnorodnykh lyudskikh potokov iz zritelnykh zalov: dis. kand. tekhn. nauk* [Technique of definition of an estimated time of evacuation of non-homogeneous human flows from auditoriums. Cand. tech. sci. diss.]. Minsk, 2010. 156 p.
23. Eremchenko M. A. *Dvizheniye lyudskikh potokov v shkolnykh zdaniyakh: dis. kand. tekhn. nauk* [The movement of human flows in school buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1978. 186 p.
24. Ronoh S., Gaillard J. C., Marlowe J. Children with disabilities and disaster risk reduction: A review. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2015, vol. 6, no. 1, pp. 38–48. DOI: 10.1007/s13753-015-0042-9.
25. Peek L., Stough L. M. Children with disabilities in the context of disaster: A social vulnerability perspective. *Child Development*, 2010, vol. 81, no. 4, pp. 1260–1270. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2010.01466.x.
26. Andreou Y., McCall S. Using the voice of the child who is blind as a tool for exploring spatial perception. *British Journal of Visual Impairment*, 2010, vol. 28, no. 2, pp. 113–129. DOI: 10.1177/0264619609360285.
27. Tanaka S. Issues in the support and disaster preparedness of severely disabled children in affected areas. *Brain and Development*, 2013, vol. 35, no. 3, pp. 209–213. DOI: 10.1016/j.braindev.2012.09.008.
28. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Isaevich I. I. *Naturnyye nablyudeniya lyudskikh potokov* [Observations human flows]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 191 p.
29. Kholshchevnikov V. V. Vliyaniye metodov naturnykh nablyudeny na opredeleniye chislovykh kharakteristik zakona raspredeleniya raschetnoy velichiny skorosti lyudskogo potoka [The effect of field observation methods on determining numeric characteristics of the law of human flow velocity distribution]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 71–80.
30. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2003. 479 p.
31. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov: dis. d-ra tekhn. nauk* [Human flows in buildings, structures and on adjoining territories. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 1983. 486 p.
32. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernost svyazi mezhdu parametrami lyudskikh potokov. Diplom No. 24-S na otkrytiye v oblasti sotsialnoy psikhologii* [Relationship between parameters of human flow. Diploma No. 24-S on the discovery in the field of social psychology]. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005.
33. Smirnov N. V., Dunin-Barkovskiy I. V. *Kurs teorii veroyatnosti i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskikh prilozheniy* [Course of probability theory and mathematical statistics for technical appendices]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 512 p.

34. Kudrin I. S. *Vyyavleniye parametrov dvizheniya lyudskikh potokov pri pozhare na obyemno-planirovochnyye resheniya vysotnykh zdaniy: dis. kand. tekhn. nauk* [Identification of parameters of the movement of human flows at the fire on space-planning solutions of high-rise buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2013. 190 p.
35. Samoshin D. A., Slyusarev S. V. Osobennosti individualnogo dvizheniya lyudey razlichnoy mobilnosti v obshchem potoke evakuiruyemykh iz zdaniya pri pozhare [Personality characteristics movements of people with different mobility in the general flow of evacuees out of building during fire]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti — Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 3(61), pp. 121–131.

For citation: Slyusarev S. V., Samoshin D. A. Parametry dvizheniya malomobilnykh detey dlya opredeleniya raschetnogo vremeni evakuatsii iz zdaniy s ikh massovym prebyvaniyem [Parameters of the movement children with limited mobility for definition of an evacuation time estimate from buildings with their mass stay]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.



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)

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

ФАКТОРЫ, СНИЖАЮЩИЕ ОГNETУШАЩУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДСЛОЙНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТУШЕНИИ ПЛАМЕНИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

При анализе процесса тушения подслоиным способом особое внимание уделено результатам натурных испытаний. Представлены некоторые результаты натурных испытаний системы подслоиного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах, проведенных на полигонах в Перми, Новополючке, Астрахани и Альметьевске, а также анализ зарубежных источников. На основе анализа натурных огневых испытаний и сопоставления полученных в них результатов с модельными экспериментами выявлены оптимальные параметры системы подслоиного тушения пожаров нефти в резервуарах. Установлены факторы, снижающие огнетушащую эффективность такой системы.

Ключевые слова: огнетушащая эффективность; система подслоиного пожаротушения; натурные огневые испытания; генератор пены; кратность пены; оптимальные параметры системы пожаротушения.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.56-67

Пожары в резервуарах с нефтью чаще всего начинаются со взрыва паровоздушной среды, которая образуется в резервуаре в период откачки нефти. В результате взрыва система пожаротушения, состоящая из генераторов пены средней кратности, установленных на верхнем поясе резервуара, выходит из строя, а часть металлической крыши обрушивается внутрь резервуара, образуя “карманы”, в которые нет доступа для пены, подаваемой снаружи [1].

Таким образом, эксплуатация системы противопожарной защиты резервуаров с генераторами пены средней кратности не оправдала себя из-за низкой надежности и слабой устойчивости ко взрыву паровоздушной среды [2–4].

В 80-е годы прошлого столетия с появлением отечественных фторсодержащих пенообразователей, таких как “Подслоиный”, “Универсальный” и “Фор-этол”, началась разработка отечественного способа системы подслоиного тушения пожаров нефти в резервуарах. Наряду с отечественными пенообразователями, использовались и зарубежные — “Легкая вода” и “Гидрал”. Наиболее эффективной оказалась пена, полученная из пенообразователя “Легкая вода” [5].

На основе результатов натурных испытаний системы подслоиного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах, проведенных на полигонах в Перми, Новополючке, Астрахани и Альметьевске [6–9], а также анализа зарубежных источников [10, 11] были разработаны рекомендации по подслоиному тушению нефтепродуктов и ведомственные нормы применения системы подслоиного тушения пожаров. В 2000 г. было разработано руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов, в которое входила система подслоиного тушения пожаров. В дальнейшем система подслоиного пожаротушения была включена в ГОСТ Р 50588–2012.

Начиная с 2000 г. большинство вновь построенных и переоборудованных резервуарных парков используют систему подслоиного тушения пожаров в резервуарах, а в качестве пенообразователей — составы, содержащие фторированные стабилизаторы типа “Легкая вода”. Несмотря на использование новой системы пожаротушения и фторированных пенообразователей, тушение пожаров в резервуарных парках остается большой проблемой [12–14].

Была выявлена низкая эффективность системы подслоиного тушения пожара, что может быть обу-

словлено рядом упущений, которые допускаются в процессе подготовки и тушения и связаны с выбором пенообразователя, способом приготовления рабочего раствора, способом получения и транспортировки пены, способом введения пены в нефтепродукт. Потушить пожары в резервуарах на раннем этапе не удастся ни с помощью автоматической системы пожаротушения, ни подачей пены в основание резервуара от передвижной техники [3]. В результате пожары в резервуарных парках приобретают катастрофический характер, охватывая пламенем соседние резервуары [1, 4].

В связи с этим актуальной задачей представляется выявление оптимального режима тушения пожаров в резервуарах.

Цель настоящей работы — на базе экспериментальных исследований, проведенных в полигонных условиях и на модельном резервуаре, провести анализ системы тушения пожаров подачей пены в основание резервуара и определить оптимальный режим применения пены для тушения пожаров нефтепродуктов.

С внедрением системы подслоного тушения пожаров в резервуарах связаны большие надежды на обеспечение пожарной безопасности резервуарных парков с помощью пены, полученной на основе пенообразователей, содержащих фторированные стабилизаторы. Надежность подслоной системы была доказана зарубежными и отечественными исследованиями [15–20], поэтому низкая эффективность данной системы, выявленная в последние годы, вызывает сомнение в правильности ее организации и использования. При анализе процесса тушения подслоным способом особое внимание будет уделено результатам натурных испытаний, проведенных при участии авторов настоящей работы.

Натурные огневые эксперименты в г. Перми на резервуаре, содержащем легкую нефть с толщиной слоя 8 м, с высотой свободного борта не более 1 м показали высокую эффективность подслоной системы. При этом удалось провести только два огневых эксперимента с использованием отечественного пенообразователя “Подслоный” и зарубежного “Гидрал” (компания “Сабо”, Италия). В результате теплового воздействия факела пламени верхний пояс резервуара раскалился и начал коробиться, поэтому эксперименты были ограничены двумя зажиганиями нефти. Расчетная интенсивность подачи пены — около $0,06 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Время тушения пеной из пенообразователя “Гидрал” составило 2,5 мин, а из пенообразователя “Подслоный” — 3,5 мин. Результат тушения был признан положительным.

Следующий натурный эксперимент был проведен на пожарном полигоне в г. Альметьевске. Тушили резервуар объемом 5000 м^3 , высотой 10 м, уро-

вень легкой нефти составлял 9 м. Всего было проведено восемь экспериментов в течение трех дней.

Основное отличие данных экспериментов от известных из литературы заключалось в том, что весь резервуар был заполнен свежей нефтью до высоты 9 м. В то же время за рубежом в наиболее крупных экспериментах тушение проводилось путем подачи пены через вертикальный цилиндр диаметром 1,5 м, а слой нефти толщиной не более 1 м наливался на слой воды, который практически закрывал пространство между стенками резервуара и металлического цилиндра, установленного в центре. В результате пена в процессе подъема контактировала только с ограниченным объемом нефти.

Для выявления моментов, которые могут повлиять на эффективность подслоного способа, ниже на основе экспериментов с модельными резервуарами детально рассмотрены условия проведения экспериментов, процедуры приготовления и применения пены, оборудование, использованное для получения пены и тушения пламени нефти в резервуаре.

В процессе проведения натурных испытаний температура окружающего воздуха составляла $17\text{--}19^\circ\text{C}$, временами моросил слабый дождь, ветер был порывистый, от слабого до умеренного.

Свежая нефть, закачанная в резервуар по трубопроводу, имела температуру вспышки минус 6°C . За земляным обвалованием, устроенным вокруг резервуара, были размещены генераторы пены, которые подсоединялись к пенопроводу. Перед входом в резервуар на пенопроводе был установлен обратный клапан и коренная задвижка. Перед экспериментами коренную задвижку открывали.

Для получения пены использовали генераторы пены производительностью 9 л/с при входном давлении водного раствора $(9 \pm 1) \text{ атм}$. Эти генераторы обеспечивали получение пены кратностью 4,0 при давлении в трубопроводе $(3 \pm 0,5) \text{ атм}$. Попытки использовать более производительное оборудование были безуспешными, поскольку получить с помощью насоса пожарных автоцистерн давление раствора более $(9 \pm 1) \text{ атм}$ при расходе $(9 \pm 1) \text{ л/с}$ было невозможно. Как правило, предварительные испытания генераторов пены и насоса автоцистерны показывали более низкие значения расходов, чем удавалось получать на используемом оборудовании. В табл. 1 представлены основные параметры резервуара и расходные параметры по водному раствору пенообразователей.

На каждой линии ввода устанавливался Т-образный насадок в виде трубы с двумя открытыми концами. Наличие Т-образных насадков позволяло в два раза снизить скорость ввода пены, подаваемой в нефтепродукт через один пенопровод. При использовании двух вводов пена подавалась в горючее че-

Таблица 1. Основные параметры резервуара и расходные параметры по водному раствору пенообразователей

H_0 , м	$H_{нф}$, м	D , м	S , м ²	N	q_r , кг/с	n	Q , кг/с	J , кг/(м ² ·с)	τ_r , с	$\tau_{лок}$, с	Q_s , кг/м ²
10	9	22,8	408,1	2	8	2	16	0,0392	280	280	10,978
10	9	22,8	408,1	3	7	3	21	0,0515	140	110	7,2046
10	9	22,8	408,1	4	7	4	28	0,0686	105	85	7,2046
10	9	22,8	408,1	4	8	4	32	0,0784	105	85	8,2338

П р и м е ч а н и е . H_0 — высота резервуара; $H_{нф}$ — высота слоя нефти; D — диаметр резервуара; S — площадь поверхности резервуара; N — число линий ввода пены; q_r — расход раствора из одного генератора пены при (10 ± 1) атм; n — число генераторов пены; Q — общий расход раствора пенообразователя; J — интенсивность подачи раствора пенообразователя; τ_r — время тушения; $\tau_{лок}$ — время локализации пожара; Q_s — удельный расход пенообразователя.

рез четыре выхода, трех вводов — через шесть выходов, четырех вводов — через восемь выходов.

Для подачи пены было подключены четыре трубопровода, поэтому максимальная интенсивность подачи составила: $4 \cdot 10/615 = 0,065$ кг/(м²·с). При использовании двух или трех пенопроводов интенсивность подачи пены составляла 0,039 и 0,052 кг/(м²·с) соответственно. На рис. 1 представлены результаты натурных огневых испытаний, проведенных на резервуаре объемом 5000 м³, диаметром 23,8 м при участии авторов статьи, и испытаний подслонной системы в полигонных условиях. Высота свободного борта составляла 0,8–1,0 м.

При проведении испытаний время свободного горения составляло 3,0 мин, а отсчет начинали с момента распространения пламени на всю поверхность нефти. Уже на “холодных” экспериментах наблюдалась задержка поступления пены в резервуар из-за необходимости создания дополнительного давления, которое требовалось для открытия обратных клапанов. Если генераторы пены имели обратный клапан для предотвращения выхода раствора наружу, то в этой линии пена попадала в резервуар быстрее. Если генератор не имел предохранительного устройства, то в первые секунды раствор выплескивался наружу, а спустя 20–25 с на поверхность нефти начинала поступать пена из всех пенопроводов, к которым были присоединены генераторы пены.

Процесс тушения проходил по одинаковому сценарию. Вначале наблюдалось свободное горение, сопровождавшееся гигантским факелом и появлением высокого столба дыма. При подаче пены в трубопроводы часть водного раствора выливалась наружу через всасывающие отверстия генераторов пены. Через 20–25 с пена, преодолев обратное давление от нефти в резервуаре и сопротивление обратного клапана, начинала поступать в резервуар и всплывать на горящую поверхность. Спустя 1,0–1,5 мин высота пламени резко снижалась, частично оголяя поверхность нефти. Вся открытая поверхность оказывалась покрытой сеткой расходящихся полос пены. Поскольку пена всплывала вместе с холодной

нефтью, то на поверхности последней формировалась тонкая водная пленка раствора пенообразователя, препятствующая испарению нефти, и горение на этом участке прекращалось. Языки пламени оставались только на участках, расположенных ближе к раскаленному борту. Эта ситуация соответствует локализации пожара в резервуаре.

Локализация пламени происходила за 65–80 с. Дополнительное время требовалось на охлаждение пеной раскаленных участков свободного металлического борта, которые подвергались прямому воздействию факела пламени.

В процессе проведения огневых испытаний основное внимание уделялось влиянию расположения пенных насадков, через которые пена вводилась в нефть. Было отмечено, что при вводе пены через один насадок в месте подъема пены наблюдалось локальное возвышение уровня нефти. В этой зоне скорость движения поднимающейся вместе с пеной нефти была наибольшей, поэтому пленка водного раствора огнетушащего вещества была неспособна покрыть поверхность горящей жидкости. В результате пламя устойчиво сохранялось в месте подъема пены. После прекращения подачи пены скорость подъема слоев нефти снизу к поверхности снижалась и происходило образование тонкой водной пленки, которая вместе с натекающей пеной тушила пламя нефти.

Общим для всех проведенных огневых экспериментов было то, что наблюдалось постепенное покрытие пеной “оголенных” участков после прекращения ее подачи. Часть пены, удерживаемая циркулирующими потоками нефти, постепенно всплывала на ее поверхность. По предварительным оценкам объем всплывающей после тушения пены составлял не менее объема пены, накопленной на поверхности к моменту тушения пламени. Это наблюдение показывает, что эффективная интенсивность подачи пены, используемой для тушения пламени, в два раза ниже расчетной.

Для выявления оптимального количества насадков для ввода пены были проведены эксперименты

с подачей пены через два, три и четыре насадка. Иллюстрация влияния количества вводов пены на характер тушения представлена на рис. 1–5.

Результаты полигонных испытаний и аналогичные измерения, проведенные на модельном резервуаре, представлены на рис. 6. Абсолютные значения минимального удельного расхода и оптимальной интенсивности подачи различаются соответственно в три и два раза. Наиболее очевидным фактором, влияющим на эти параметры, является наличие раскаленной поверхности металлического пояса, подвергаемого воздействию факела пламени. Из экспериментов видно, что локализация пламени происходит за 1,0–1,5 мин, а на охлаждение свободной стенки требуется дополнительно 1–2 мин.

Вторым фактором, который также наглядно проявляется после завершения процесса тушения, — это подъем к поверхности части пены, которая, будучи увлеченной нисходящими потоками, циркулирует в объеме нефти. Открытая поверхность нефти



Рис. 1. Фрагмент огневых испытаний системы подслоного тушения пламени легкой нефти в резервуаре



Рис. 2. Фрагмент огневых испытаний: пламя в резервуаре потушено подачей пены низкой кратности в основание резервуара через один трубопровод с насадками в центре резервуара; пять линейных вводов пены расположены равномерно по окружности резервуара



Рис. 3. Заключительный этап тушения пламени легкой нефти подачей пены низкой кратности, полученной из пенообразователя "Легкая вода", через два трубопровода, расположенные с противоположных сторон резервуара



Рис. 4. Тушение пламени легкой нефти подачей пены низкой кратности, полученной из пенообразователя "Легкая вода", через четыре трубопровода, расположенные симметрично около противоположных стен резервуара



Рис. 5. Открытые участки поверхности нефти, расположенные над местом входа пены в горючую жидкость через насадки, установленные под углом 120°

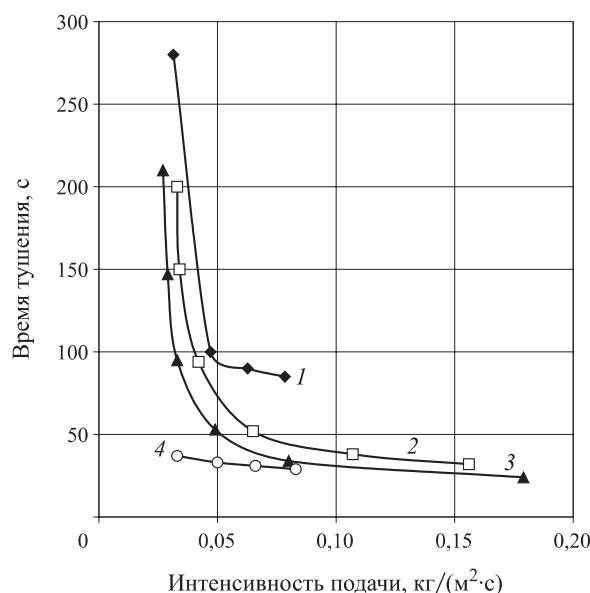


Рис. 6. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены, полученная в натурных испытаниях на РВС 5000 (1), на модельном резервуаре (2, 3) и в резервуаре диаметром 8,0 м (4) при кратности пены 3,0 (3) и 4,0 (2)

постепенно покрывается пеной, которая по окончании подачи поднимается и формирует плотный изолирующий слой.

Если принять, что примерно половина массы пены, поданной в резервуар, циркулирует в толще нефти, то эффективная интенсивность подачи пены на горящую поверхность должна быть в два раза меньше. Поэтому оптимальная интенсивность будет соответствовать той, которая получена на модельном резервуаре, и будет близка к критической. Попытка увеличить число пенных насадков направлена также на снижение скорости циркуляции нефти за счет близко расположенных восходящих потоков пены.

При подготовке натурных экспериментов по тушению пламени нефти в резервуаре использовали генераторы пены, способные образовывать пену при наличии встречного гидростатического давления столба нефти в резервуаре порядка 2 атм.

Влияние кратности пены, поданной в слой нефти, на время тушения проиллюстрировано на рис. 7, где представлены результаты тушения пламени гептана в модельном резервуаре пеной различной кратности, полученной из пенообразователя “Гидрал”.

Как и ожидалось, увеличение кратности пены с 4,0 до 10,0 привело к снижению оптимальной интенсивности в два раза.

Время тушения гептана пеной кратностью от 4,0 до 10,0 при одинаковой интенсивности подачи водного раствора, равной 0,05 кг/(м²·с), снизилось со 180 до 25 с. Этот результат требует уделить особое внимание выбору способа и аппаратуры для получения пены в реальных условиях.

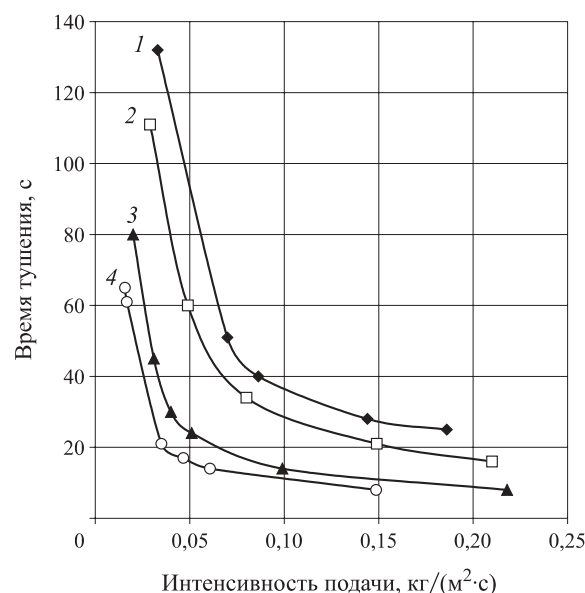


Рис. 7. Влияние кратности пены, полученной из водных растворов пенообразователя “Гидрал”, на время тушения пламени гептана подслоиным способом: 1 — кратность пены 4,0; 2 — 5,0; 3 — 7,0; 4 — 10,0

Для анализа факторов, приводящих к снижению огнетушащей эффективности системы подслоиного тушения пожаров, необходимо рассмотреть всю технологическую цепочку, включающую:

- выбор пенообразователя и его обоснование;
- способ приготовления рабочего раствора заданной концентрации; время хранения раствора до применения;
- способ получения пены заданной кратности;
- способ транспортирования пены в резервуар;
- способ ввода пены в нефтепродукт;
- взаимодействие пены с нисходящими потоками горючей жидкости в процессе ее подъема к горящей поверхности;
- термическое и контактное разрушение пены в процессе растекания по нефтепродукту;
- обеспечение периода повторного возгорания нефтепродукта из-за утраты пеной изолирующего действия.

На первом этапе выявляют пленкообразующие свойства водных растворов пенообразователей, для чего определяют зависимость поверхностного и межфазного натяжения водных растворов на границе с воздухом и гептаном от их концентрации. На рис. 8 представлена зависимость поверхностного натяжения водного раствора пенообразователя и коэффициента растекания его по гептану от концентрации пенообразователя в рабочем растворе.

На основании этих результатов рассчитывают коэффициент растекания, положительное значение которого указывает на “пленкообразующую” природу рабочего раствора пенообразователя. Коэффициент растекания водного раствора по углеводо-

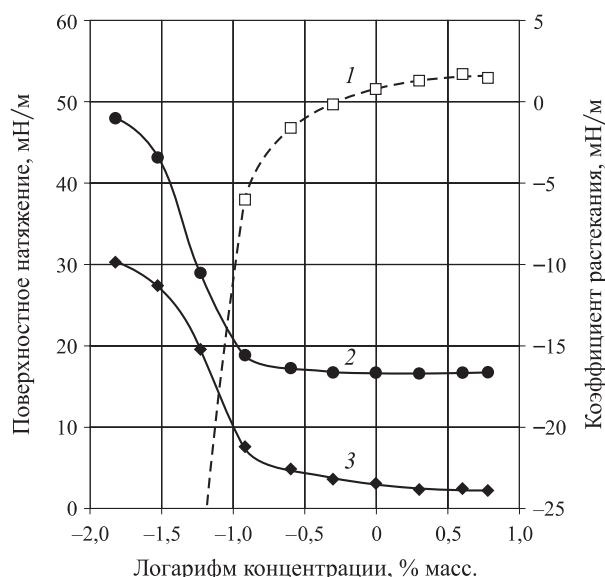


Рис. 8. Изотермы коэффициента растекания (1), поверхностного (2) и межфазного (3) натяжения водных растворов на границе с гептаном при различной концентрации пленкообразующего пенообразователя

роду K_{10} определяют по известному соотношению [15–17]:

$$K_{10} = \sigma_0 - (\sigma_{01} + \sigma_1), \quad (1)$$

где σ_0 — поверхностное натяжение гептана, мН/м;
 σ_{01} — межфазное поверхностное натяжение на границе *раствор – гептан*, мН/м;
 σ_1 — поверхностное натяжение водного раствора на границе с воздухом, мН/м.

Поверхностное натяжение раствора пленкообразующего пенообразователя на границе с воздухом составляет 16–19 мН/м, межфазное поверхностное натяжение — 1,0–6,0 мН/м. Чтобы обеспечить растекание капли по углеводородам, которые имеют $\sigma_0 = 22,3$ мН/м, необходимо иметь водный раствор с $\sigma_{01} = 17$ мН/м, а межфазное натяжение — $\sigma_{01} = 2,5$ мН/м.

Зависимость коэффициента растекания от концентрации пенообразователя необходима при использовании жесткой и морской воды. Как правило, наличие солей жесткости в воде приводит к снижению концентрации молекул ПАВ, которые связываются с ионами кальция и магния и выпадают в осадок. В связи с этим для компенсации потерь ПАВ в осадок необходимо знать влияние солей жесткости на концентрацию пенообразователя в рабочем растворе, если предполагается перед использованием хранить пенообразователь в виде рабочего раствора, например, в кольцевом растворопроводе.

На втором этапе определяют пенообразующую способность генераторов пены. В зарубежной практике используются высоконапорные генераторы пены, основное отличие которых от отечественных связано со способностью образовывать пену кратностью

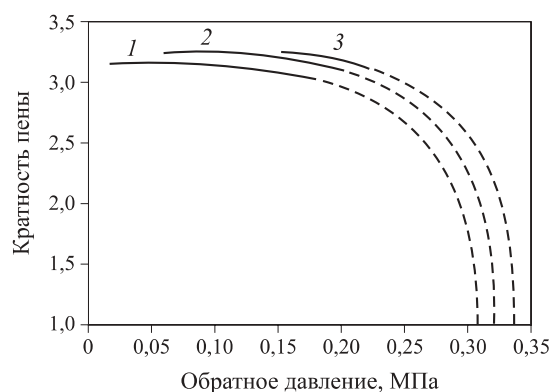


Рис. 9. Зависимость кратности пены от обратного давления при различном давлении раствора перед генератором [19]: 1 — 0,6 МПа; 2 — 0,7 МПа; 3 — 0,8 МПа

3,0–4,0 при наличии противодействия 1,5–2,0 атм. Эти генераторы разрабатывались для противопожарной защиты резервуаров высотой не более 12 м. Для обеспечения кратности пены более 3,5 конструкция генератора предусматривала эжекцию воздуха из расчета кратности пены 4,0. Учитывая, что приток воздуха в струю раствора определяется скоростью потока водного раствора, а кратность — соотношением расхода водного раствора и эжектируемого воздуха, расход раствора старались поддерживать минимальным. Давление раствора перед генератором пены, которая способна обеспечить пожарная автоцистерна, при расходе раствора 1,0 л/с составляло 8–10 атм. Такие параметры имели генераторы пены, использованные в натурных экспериментах.

Зарубежные высоконапорные генераторы характеризуются зависимостью кратности пены от противодействия со стороны резервуара. Типичная зависимость кратности от давления представлена на рис. 9 [19]. Кратность пены более 3,0 поддерживается только при противодействии не более 2,0 атм.

Для повышения интенсивности подачи пены использовали спаренные генераторы, что позволяло получить удвоенный расход пенообразующего раствора. На рис. 10 и 11 представлены фото спаренных генераторов пены с расходом 10 л/с каждый. Попытка обойтись одним генератором пены вместо двух или четырех привела к производству генераторов с расходом 20 и 40 л/с. Поскольку давление на входе в генератор оставалось неизменным (9 ± 1 атм), то повышение расхода было достигнуто за счет увеличения проходного сечения в узком месте генератора.

Таким образом, скорость потока и количество эжектируемого воздуха остались прежними. Кратность пены, естественно, снизилась и составляла менее 3,0. Как было показано в экспериментах, уменьшение кратности пены ниже 4,0 ведет к большим потерям и расслоению ее в процессе подъема на поверхность нефтепродукта. В результате фактическая



Рис. 10. Высоконапорные генераторы низкой производительности, соединенные попарно на один линейный ввод пены



Рис. 11. Схема стационарного соединения генераторов низкократной пены системы подслоного тушения пожара от передвижной пожарной техники

интенсивность подачи пены снижается в 3–4 раза. Соответственно, резко возрастает время тушения и удельный расход пенообразователя, необходимый для тушения пожара нефтепродукта в резервуаре.

С учетом особой важности кратности пены, полученной с помощью генераторов пены, ниже показана схема установки для испытания высоконапорных генераторов и измерения кратности пены (рис. 12 и 13). Эта схема была использована при испытании генераторов пены, которые применялись при полигонных огневых испытаниях системы подслоного тушения пожара в резервуаре объемом 5000 м³. Важным элементом установки является узел отбора и сбора пены. Если пену подавать в емкость с расстояния, например, 50 см, то в сосуд увлекается большой объем воздуха и, как следствие, кратность пены оказывается завышенной. Для предотвращения этой ошибки выход пробоотборника вводят в трубку, которая опущена на дно сосуда. В результате измерения дают правильную величину кратности пены.

Следует отметить, что качество генераторов пены первоначально определяли по количеству эжектируемого воздуха с использованием водопроводной



Рис. 12. Демонстрация узла отбора пены при испытании генератора на кратность пены: металлическая трубка опущена в емкость до уровня 3 см выше дна



Рис. 13. Демонстрация мерной емкости, заполненной анализируемой пеной, поданной в основание емкости во избежание захвата воздуха снаружи

воды. Если соотношение объемов воздуха и воды составляло не менее 4,0, то генераторы считались пригодными для дальнейших испытаний.

Третий этап — это транспортирование пены по трубопроводу. На выходе генератора воздух и раствор еще не образуют пену, а представляют собой неоднородную смесь жидкости и воздуха. Пена формируется в процессе продвижения по трубопроводу за счет трения неоднородной массы о его поверхность, поэтому важно, чтобы длина трубопровода составляла не менее 10 м. При протяженности трубопровода более 60 м пена, сформированная на первых 10 м, начнет расслаиваться: воздух будет подниматься вверх, а водная эмульсия будет продолжать двигаться вниз [19, 20]. Следовательно, оптимальная протяженность пенопровода должна составлять 15–50 м. Если пена одновременно подается в верхний пояс резервуара, то необходимо обеспечить давление, достаточное для организации напорного рассеяния пенной струи. В противном случае работа верхнего пояса пенных насадков окажется неэффективной. На рис. 14 представлена картина неэффек-



Рис. 14. Иллюстрация неравномерной работы системы подачи пены сверху в кольцевой зазор плавающей крыши резервуара: один слив подает пену слабой струей, а другой (красная труба) еще не работает (пена к нему не поступила)

тивной работы верхних пенных насадков системы пожаротушения.

В зарубежной практике генераторы пены располагаются в верхнем поясе резервуара, поэтому давления раствора, подаваемого к генератору, достаточно для получения плоской струи, которая концентрируется в кольцевом зазоре между плавающей крышей и стенкой резервуара.

На четвертом этапе осуществляется ввод струи пены в нефтепродукт. Чем выше линейная скорость пены после пенного насадка, тем глубже внедряется нефтепродукт в поток пены. Это особенно опасно, если коэффициент растекания водного раствора пенообразователя близок к нулю или имеет отрицательную величину. Захваченный нефтепродукт препятствует формированию изолирующего слоя пены.

Пятый этап — формирование на горячей поверхности изолирующего слоя пены и водной пленки. На этом этапе происходит обновление поверхностного слоя горячей жидкости холодным, который поднимается к поверхности вместе со всплывающей струей пены. При этом происходит несколько процессов:

- охлаждение поверхностного слоя, что ведет к снижению скорости выгорания;
- формирование локального подъема слоя нефтепродукта в месте выхода пены на поверхность;
- возбуждение поверхностного движения углеводорода к стенкам резервуара, что препятствует формированию изолирующего пенного слоя;
- термическое разрушение пены потоком тепла от факела пламени и от раскаленной стенки резервуара;
- образование на охлажденной поверхности горючей жидкости пленки водного раствора из разрушенной пены.



Рис. 15. Локальный участок над местом подъема пены на горящую поверхность нефти



Рис. 16. Иллюстрация изолирующего действия слоя пены после тушения пламени бензина, находящегося в цилиндре в центре противня с бензином

При тушении пламени часть поверхности нефтепродукта, которая остается непокрытой пеной, закрывается изолирующей пленкой (рис. 15). Со временем вся поверхность углеводорода окажется покрытой слоем пены, которая была захвачена нисходящими в процессе тушения потоками жидкости.

Отличительной особенностью пленкообразующих пенообразователей является возможность предотвращения повторного возгорания нефтепродукта после частичного разрушения пены. Изолирующее действие слоя пены после тушения бензина, которое характеризуется периодом предотвращения повторного возгорания, представлено на рис. 16. Время повторного возгорания составляет 10–15 мин. Этого достаточно, чтобы металлические элементы были охлаждены до температуры, которая позволит исключить повторное возгорание нефтепродукта.

Выводы

На основе анализа натурных огневых испытаний и сопоставления полученных в них результатов с модельными экспериментами выявлены оптимальные параметры системы процесса подслоного тушения пожаров нефти в резервуарах.

Установлено, что на огнетушащую эффективность подслоной системы влияют следующие факторы:

- снижение концентрации пенообразователя в процессе приготовления и хранения рабочего раствора пенообразователя, что отрицательно сказывается на возможности самопроизвольного растекания водного раствора по нефтепродукту;
- погрешность в дозировании концентрированного пенообразователя в процессе приготовления рабочего раствора;
- невозможность создания пены кратностью не менее 3,5 при использовании генераторов с расходом более 10 л/с и при давлении $(9 \pm 0,5)$ атм;
- применение генераторов пены с обратным клапаном на линии эжекции воздуха для создания давления, необходимого для открытия обратного клапана и разрыва предохранительной мембраны;
- отбор проб пены при работающем генераторе, что исключает захват воздуха падающей струей пены;

- использование пены кратностью ниже 4,0;
- поддержание оптимальной протяженности пенопровода для получения пены однородной структуры;
- применение распределенной схемы расположения пенных насадков для предотвращения образования локальных участков с увеличенным слоем нефти и снижения степени захвата пены нисходящими потоками нефти;
- обеспечение длительного периода до повторного возгорания нефтепродукта раскаленными стенками резервуара из-за утраты пеной изолирующего действия.

С учетом потерь пены в циркулирующем объеме нефти и дополнительного термического действия раскаленных металлических стенок верхнего пояса резервуара результаты модельных экспериментов удовлетворительно согласуются с натурными экспериментами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. White D. Make room for safety // *Industrial Fire World*. — 2006. — Vol. 21, No. 1. — P. 8–10.
2. Westwood K. D. Dark skies over England // *Industrial Fire World*. — 2006. — Vol. 21, No. 1. — P. 4–7.
3. Сучков В. П., Ралюк В. В. Анализ причин и последствий пожаров в резервуарных парках ТЭК и мер по их устранению // *Безопасность в нефтегазовом комплексе : материалы конференции*. — М., 2000. — С. 69.
4. Сучков В. П., Безродный И. Ф., Вязниковцев А. В., Гилетич А. Н., Молчанов В. П., Швырков А. Н. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами. — М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1992. — 100 с.
5. Катаев А. Д. Фторсинтетические пленкообразующие пенообразователи Легкая вода производства компании 3М // *Состояние и перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи, транспортировки, переработки нефти и газа : материалы Всероссийского совещания-семинара*. — Республика Татарстан, Альметьевск, 1997. — С. 57–63.
6. Шароварников А. Ф., Воевода С. С. Новые средства и способы тушения пожаров нефти и нефтепродуктов // *Состояние и перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи, транспортировки, переработки нефти и газа : материалы Всероссийского совещания-семинара*. — Республика Татарстан, Альметьевск, 1997. — С. 41–47.
7. Шароварников А. Ф., Ефимов А. А. Подслоный способ тушения пожаров нефти и нефтепродуктов // *Пожарное дело*. — 1991. — № 12. — С. 91–96.
8. Шароварников А. Ф., Грашичев Н. К., Воевода С. С. Противопожарная защита резервуарных парков установками подслоного тушения // *Совершенствование деятельности органов Государственного пожарного надзора : сб. науч. тр.* — М. : ВПТШ, 1991. — С. 32–35.
9. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П. Подслоное тушение // *Пожарное дело*. — 1995. — № 1. — С. 83–85.
10. Накакуки А. Историческое изучение вопросов тушения пожаров в нефтяных резервуарах, оборудованных системой подачи под слой // *Хайкан гидзюцу кэнкю кёкайси (япон.)*. — 1981. — Vol. 21, No. 2. — P. 73–77.
11. Нуримото Н. Установки пожаротушения в нефтехранилищах путем введения пены под слой нефтепродукта // *Касай (япон.)*. — 1977. — Vol. 27, No. 3. — P. 11–19.
12. Zhang Shujing, Gu Xiujuan. Design and flow control of subsurface injection system for mobile oil tanks // *Proceedings of the 1st Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*. — International Association for Fire Safety Science, 1992. URL: http://www.iafss.org/publications/aofst/1/348/view/aofst_1-348.pdf (дата обращения: 15.01.2016).
13. Кокорин В. В., Романова И. Н., Хафизов Ф. Ш. Проблемы эффективного тушения пожаров вертикальных стальных резервуаров в слой горючего // *Нефтегазовое дело : электронный научный журнал*. — 2012. — № 3. — С. 255–260.

14. CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment ("Purple book"). — Netherlands, Hague : Committee for the Prevention of Disasters. — 2005. — 237 p.
15. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Огнетушащая эффективность пены низкой кратности // Научное обозрение. — 2015. — № 8. — С. 114–120.
16. Дегаев Е. Н., Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Сравнительный анализ эффективности пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания // Системы обеспечения техносферной безопасности : материалы Всероссийской конференции и школы для молодых ученых. — Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2015. — С. 13–15.
17. Макарова И. П., Дегаев Е. Н., Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Пленкообразующая способность водных растворов пенообразователей на поверхности нефтепродуктов // Системы обеспечения техносферной безопасности : материалы Всероссийской конференции и школы для молодых ученых. — Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2015. — С. 33–35.
18. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 475–476. — P. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344.
19. Plan B., McLaughlin Philip J., Smith James. Fire-fighting storage tanks // Fire Engineering. — 1988. — Vol. 141, No. 3. — P. 20–22, 24, 26–27.
20. Murphy R. F. Guidelines optimize foam fire fighting system // Oil and Gas Journal. — 1982. — No. 4. — P. 229–232.

Материал поступил в редакцию 22 января 2016 г.

Для цитирования: Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Факторы, снижающие огнетушащую эффективность подслоной системы при тушении пламени нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 56–67. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.56-67.

English

FACTORS WHICH REDUCE FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF SUBLAYER SYSTEM DURING SUPPRESSION OF THE FLAME OF OIL PRODUCTS

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)

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 special attention in analysis of the sublayer extinguishing process was paid to results of full-scale tests. Low efficiency of the sublayer fire extinguishing system can be caused by a number of neglects which are allowed in processes of preparation and extinguishing. It is related to the choice of foaming agent, method of preparation of working solution, method of producing and transportation of foam, method of injection of foam into oil product. Some results of full-scale tests of the sublayer system during extinguishing of fires in tanks with oil or oil products, which were conducted on testing grounds of such cities as Perm, Novopolotsk, Astrakhan and Almet'yevsk are presented in the article. It is also presented analysis of foreign information sources. On the basis of analysis of full-scale fire tests and comparison of obtained results, using model experiments, there were revealed the optimal

parameters of the sublayer system in process of extinguishing of fires in oil tanks. Factors leading to decrease of fire extinguishing efficiency of the sublayer system are considered. The conclusion is that fire extinguishing efficiency of the sublayer system is decreased due to such factors as decrease of foaming agent concentration during preparation and storage of working solution, that affects spontaneous spreading of aqueous solution on the surface of oil product; an error in dosing of concentrated foaming agent in process of preparation of working solution; impossibility to obtain the foam with expansion rate not less than 3.5 using generators with consumption rate of more than 10 l/s and pressure (9 ± 0.5) atm; application of foam generators with back pressure valve placed on air ejection line for creation the pressure necessary to open the valve and to rupture safety membrane; absence of a foam sampling procedure, while generator is working, which exclude capture of air by falling stream of foam; application of foam with expansion rate lower than 4.0; maintaining of optimal length of a foam line to obtain the foam with homogeneous structure; application of distributed scheme of foam nozzles location to prevent formation of local areas with raised layer of oil and to decrease the capture degree of foam by descending oil streams; providing the long period before burnback of oil product by heated tank walls due to loss of foam insulating properties.

Keywords: fire extinguishing efficiency; sublayer fire extinguishing system; full-scale fire tests; foam generator; foam expansion rate; optimal parameters of fire extinguishing system.

REFERENCES

1. White D. Make room for safety. *Industrial Fire World*, 2006, vol. 21, no. 1, pp. 8–10.
2. Westwood K. D. Dark skies over England. *Industrial Fire World*, 2006, vol. 21, no. 1, pp. 4–7.
3. Suchkov V. P., Ralyuk V. V. Analiz prichin i posledstviy pozharov v rezervuarnykh parkakh TEK i mer po ikh ustraneniyu [The analysis of reasons and consequences of fires in tank batteries of the FPS (fuel-and-power sector) and measures for their elimination]. *Bezopasnost v neftegazovom komplekse: materialy konferentsii* [Safety in a fuel-and-power sector. Proceedings of conference]. Moscow, 2000, p. 69.
4. Suchkov V. P., Bezrodnyy I. F., Vyaznikovtsev A. B., Giletich A. N., Molchanov V. P., Shvyrkov A. N. *Pozhary rezervuarov s neftyu i nefteproduktami* [Fires in tanks with oil and oil products]. Moscow, TsNIITNeftekhim Publ., 1992. 100 p.
5. Kataev A. D. Ftorsinteticheskiye plenkoobrazuyushchiye penoobrazovateli “Legkaya voda” proizvodstva kompanii 3M [Aqueous film forming foaming agents “Light water” produced by 3M company]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya protivopozharnoy zashchity obyektov dobychi, transportirovki, pererabotki nefi i gaza: materialy Vserossiyskogo soveshchaniya-seminara* [State and prospects of development of fire-prevention protection of objects of production, transportation and refining of oil and gas. Proceedings of All-Russian meeting-seminar]. Republic of Tatarstan, Almetyevsk, 1997, pp. 57–63.
6. Sharovarnikov A. F., Voevoda S. S. Novyye sredstva i sposoby tusheniya pozharov nefi i nefteproduktov [New means and ways of extinguishing of fires of oil and oil products]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya protivopozharnoy zashchity obyektov dobychi, transportirovki, pererabotki nefi i gaza: materialy Vserossiyskogo soveshchaniya-seminara* [State and prospects of development of fire-prevention protection of objects of production, transportation and refining of oil and gas. Proceedings of All-Russian meeting-seminar]. Republic of Tatarstan, Almetyevsk, 1997, pp. 41–47.
7. Sharovarnikov A. F., Efimov A. A. Podslonnyy sposob tusheniya pozharov nefi i nefteproduktov [Sublayer method of extinguishing of oil and oil product fires]. *Pozharnoye delo — Fire Business*, 1991, no. 12, pp. 91–96.
8. Sharovarnikov A. F., Grashichev N. K., Voevoda S. S. Protivopozharnaya zashchita rezervuarnykh parkov ustanovkami podslonnogo tusheniya [Fire protection of tank batteries by installations of sublayer extinguishing]. *Sovershenstvovaniye deyatelnosti organov Gosudarstvennogo pozhnogo nadzora: sb. nauch. tr.* [Improvement of activity of the State fire supervision bodies. Collection of scientific papers]. Moscow, Higher Fire and Technical School of the Ministry of Internal Affairs of Russian Federation Publ., 1991, pp. 32–35.
9. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P. Podslonnoye tusheniye [Sublayer extinguishing]. *Pozharnoye delo — Fire Business*, 1995, no. 1, pp. 83–85.

10. Nakakuki A. Istoricheskoye izucheniye voprosov tusheniya pozharov v neftyanykh rezervuarakh, oborudovannykh sistemoy podachi pod sloy [Historical study of problems of extinguishing of fires in oil tanks equipped with system of sublayer supply]. *Haykan Gidzyutsu Kenkyu Kekaysi* (Japan), 1981, vol. 21, no. 2, pp. 73–77.
11. Nurimoto N. Ustanovki pozharotusheniya v neftekhranilishchakh putem vvedeniya peny pod sloy nefteprodukta [Fire extinguishing installations for oil storages injecting foam under the layer of oil product]. *Kasay* (Japan), 1977, vol. 27, no. 3, pp. 11–19.
12. Zhang Shujing, Gu Xiujuan. Design and flow control of subsurface injection system for mobile oil tanks. *Proceedings of the 1st Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*. International Association for Fire Safety Science, 1992. Available at: http://www.iafss.org/publications/aofst/1/348/view/aofst_1-348.pdf (Accessed 15 January 2016).
13. Kokorin V. V., Romanova I. N., Khafizov F. Sh. Problemy effektivnogo tusheniya pozharov vertikalnykh stalnykh rezervuarov v sloy goryuchego [The problems of effective fire suppression of vertical steel storage tanks in the fuel layer]. *Neftegazovoye delo. Elektronnyy nauchnyy zhurnal — Oil and Gas Business. Electronic Scientific Journal*, 2012, no. 3, pp. 255–260.
14. *CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment* (“Purple book”). Netherlands, Hague, Committee for the Prevention of Disasters, 2005, p. 237.
15. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Ognetushashchaya effektivnost peny nizkoy kratnosti [Fire extinguishing effectiveness of low multiplicity foam]. *Nauchnoye obozreniye — Science Review*, 2015, no. 8, pp. 114–120.
16. Degaev E. N., Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Sravnitelnyy analiz effektivnosti penoobrazovateley dlya tusheniya pozharov nefteproduktov po strukture koeffitsiyenta rastekaniya [The comparative analysis of efficiency of foaming agents for extinguishing of fires of oil products taking into account the structure of spreading coefficient]. *Sistemy obespecheniya tekhnosfernoy bezopasnosti: materialy Vserossiyskoy konferentsii i shkoly dlya molodykh uchenykh* [Systems of Providing of the Technosphere Safety. Proceedings of All-Russian Conference and School for Young Scientists]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2015, pp. 13–15.
17. Makarova I. P., Degaev E. N., Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Plenkoobrazuyushchaya sposobnost vodnykh rastvorov penoobrazovateley na poverkhnosti nefteproduktov [Film forming ability of aqueous solutions of foaming agents on a surface of oil products]. *Sistemy obespecheniya tekhnosfernoy bezopasnosti: materialy Vserossiyskoy konferentsii i shkoly dlya molodykh uchenykh* [Systems of Providing of the Technosphere Safety. Proceedings of All-Russian Conference and School for Young Scientists]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2015, pp. 33–35.
18. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 475–476, pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344.
19. Plan B., McLaughlin Philip J., Smith James. Fire-fighting storage tanks. *Fire Engineering*, 1988, vol. 141, no. 3, pp. 20–22, 24, 26–27.
20. Murphy R. F. Guidelines optimize foam fire fighting system. *Oil and Gas Journal*, 1982, no. 4, pp. 229–232.

For citation: Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Faktory, snizhayushchiye ognetushashchuyu effektivnost podsloynoy sistemy pri tushenii plameni nefteproduktov [Factors which reduce fire extinguishing efficiency of sublayer system during suppression of the flame of oil products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 56–67. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.56-67.

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

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

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

УДК 536.4

ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ РАСПЫЛЕННЫМ ПОТОКОМ ВОДЫ

Выполнена экспериментальная оценка условий ликвидации модельного очага пожара горючих жидкостей (нефти, бензина, керосина, этанола, ацетона) потоком распыленной воды. Выявлены предельные параметры тушащей жидкости и продуктов сгорания, а также характеристики распыления, при которых реализуются условия тушения модельного очага пожара в цилиндре высотой $h = 1,5$ м и диаметром $d = 0,15$ м. Получены зависимости характерных времен тушения t_e от скорости движения высокотемпературных (свыше 1000 К) продуктов сгорания органических жидкостей. Экспериментально исследовано влияние на параметр t_e начальной температуры тушащей жидкости T_w . Показано, что при дисперсности распыленного потока воды $R_m = 0,05 \div 0,20$ мм нагрев до $T_w = 325$ К приводит к росту характерных времен t_e практически в 10 раз. Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых подходов к тушению жидких топлив и органических горючих жидкостей распыленным потоком воды.

Ключевые слова: жидкое топливо; органическая горючая жидкость; пламя; распыленный поток воды; тушение.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75

Введение

Технологические циклы предприятий нефтедобычи и нефтепереработки характеризуются наивысшими категориями пожароопасности ввиду низких порогов взрываемости и воспламеняемости используемых в производстве сырья и продуктов переработки [1–6]. Обычно даже при условии быстрой локализации и ликвидации подобных возгораний ущерб от пожара бывает значительным [5]. В настоящее время стандартным методом тушения возгораний нефти и нефтепродуктов считается применение пенообразователей (пенная атака) совместно с охлаждением горящего и соседних резервуаров [1–3]. Использование в качестве тушащего состава пены различной кратности хорошо зарекомендовало себя при ликвидации пожаров на предприятиях добычи, транспортирования, хранения и переработки нефти. Однако на сегодняшний день главным недостатком такой технологии по-прежнему является ее стоимость.

В качестве альтернативного способа ликвидации возгораний нефти и нефтепродуктов может быть рассмотрена технология полидисперсного пожаротушения распыленной водой, а также жидкостными составами на ее основе (солевыми растворами, эмульсиями и суспензиями). В работах [7–10] представлены результаты экспериментальных исследований особенностей испарения капельных потоков различных жидкостных составов в продуктах сгорания жидких топлив и органических горючих жидкостей. Установленные в [7–10] характеристики тепломассопереноса и фазового перехода позволяют сделать заключение о высокой интенсивности образования водяных паров в области высокотемпературных (свыше 1000 К) продуктов сгорания, что, в свою очередь, свидетельствует о возможности ликвидации очага пожара путем уменьшения концентрации паров горючей жидкости в газовой фазе и охлаждения жидкой фазы для снижения интенсивности испарения горючего вещества. В связи с этим

представляет интерес оценка времен тушения пламен типичных горючих жидкостей капельным потоком воды с контролируемыми параметрами распыла, а также количественных показателей расхода тушащей среды при варьировании характеристик распыления, параметров тушащей жидкости и высокотемпературных продуктов сгорания.

Цель настоящей работы — экспериментальное определение основных характеристик тушения пламен жидких топлив и органических горючих жидкостей распыленным потоком воды.

Экспериментальный стенд и методы исследования

При проведении исследований использован экспериментальный стенд, схема которого представлена на рис. 1. По своим основным элементам применяемый стенд аналогичен описанному в работе [9].

Исследования проводились с использованием панорамных оптических методов визуализации и диагностики гетерогенных потоков Particle Image Velocimetry (PIV), Particle Tracking Velocimetry (PTV) [11], Stereoscopic Particle Image Velocimetry (Stereo PIV) [12] и Shadow Photography (SP) [13]. Для реализации указанных методов применялся кросскорреляционный комплекс в составе синхронизирующего процессора 17 (максимальная дискретизация сигналов 10 нс), двух кросскорреляционных CCD-

видеокамер IMPERX IGV B2020M 3 и 4 (формат изображения 2048×2048 пикселей, кадровая частота 1,5 Гц, минимальная задержка между двумя последовательными кадрами 5 мкс) и системы иллюминации на базе импульсного лазера Nd:YAG 18 (длина волны 532 нм, минимальная энергия в импульсе 70 мДж, максимальная длительность импульса 12 нс, частота повторений 15 Гц). Для видеофиксации стадий исследуемого процесса использовались две высокоскоростные CMOS-видеокамеры “Phantom V411” и “Phantom MIRO M310” 1 и 2 (формат изображения 1280×1280 пикселей, максимальная частота съемки $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду).

Для определения скоростей движения высокотемпературного газового (U_g) и капельного (U_d) потоков применялись методики на базе методов “трассерной” визуализации PIV, PTV и Stereo PIV [11–13]. Метод PIV использовался для построения осредненных регулярных двухкомпонентных полей скоростей потоков, метод Stereo PIV — для определения осредненных регулярных трехкомпонентных полей скоростей. С помощью метода PTV осуществлялось слежение за каждой отдельной каплей в пароводяном потоке и построение нерегулярных двумерных распределений скоростей. Для определения размеров капель воды R_d в полидисперсном капельном потоке применялся метод теневой макросъемки SP [13].

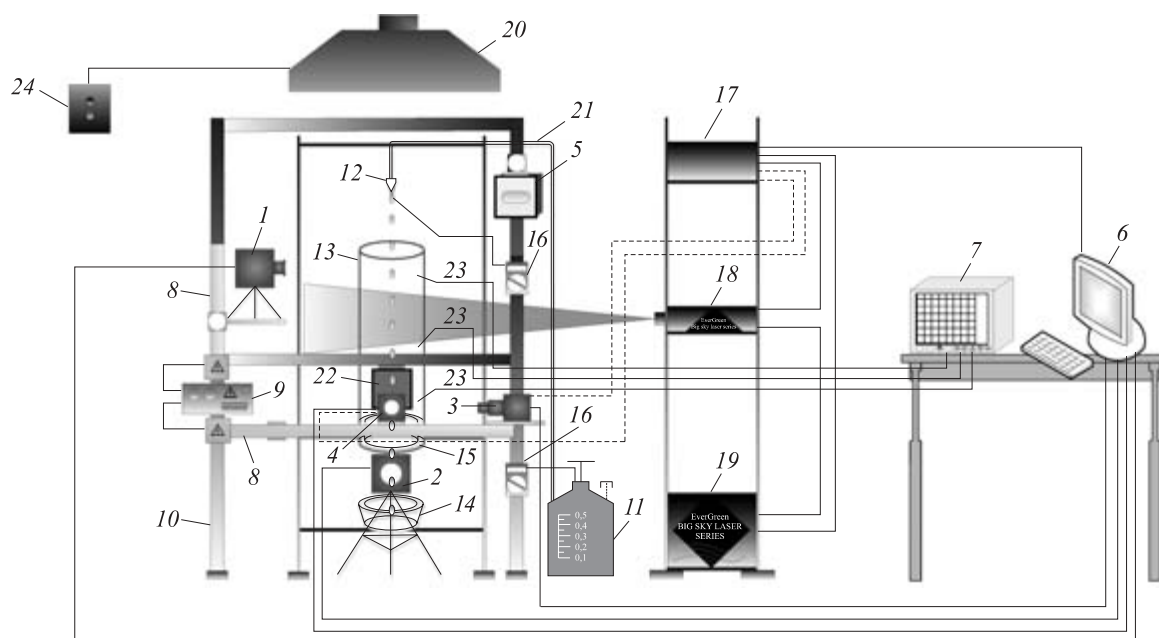


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1, 2 — высокоскоростные видеокамеры; 3, 4 — кросскорреляционные видеокамеры; 5 — осветительный прожектор; 6 — персональный компьютер (ПК); 7 — регистратор многоканальный технологический (PMT); 8 — моторизованное координатное устройство (МКУ); 9 — блок питания МКУ; 10 — алюминиевая стойка; 11 — емкость с водой; 12 — дозирующее/распылительное устройство; 13 — цилиндр из кварцевого стекла; 14 — уловитель капель; 15 — полый цилиндр с горючей жидкостью (горелка); 16 — цифровой мультиметр; 17 — синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 18 — двойной твердотельный импульсный лазер; 19 — генератор лазерного излучения; 20 — нагнетательная система; 21 — канал подачи воды; 22 — диффузный экран в комплекте со световодом; 23 — термпары; 24 — пульт включения/отключения нагнетательной системы

В зависимости от типа эксперимента (и реализуемого метода измерений) выбиралась высота установки CCD-камер 3 и 4 и лазера 18. В случае измерений методами PIV и PTV высота установки камер и лазера выбиралась таким образом, чтобы оптическая ось камер и плоскость светового ножа лазера 18 пересекались под углом 90° в регистрационной области. В случае выполнения измерений методом Stereo PIV угол между оптическими осями камер 3 и 4 и плоскостью светового ножа лазера 18 составлял $30\text{--}60^\circ$. При использовании метода SP напротив камеры за капельным потоком устанавливался стробоскопический источник света — специальный диффузный экран 22, соединенный посредством световода с лазером 18. Синхронизирующим процессором 17 инициировалась работа кросскорреляционного комплекса и специализированного программного обеспечения, позволяющего визуализировать и проводить обработку полученных по результатам экспериментов видеок кадров с перемещающимся потоком капель.

Все эксперименты осуществлялись в два этапа: на первом проводилась оценка характерных времен прогорания жидких горючих веществ t_b при отсутствии тушения; на втором — характерных времен тушения t_e используемых горючих веществ. Оценка времен выполнялась путем анализа видеозаписей с высокоскоростных CMOS-видеокамер 1 и 2.

В качестве модельного очага использовался цилиндр из жаропрочного кварцевого стекла 13 (высотой 1 м, диаметром 0,15 м). В нижней части цилиндра располагалась горелка 15, во внутреннюю полость которой заливалось 250 мл горючей жидкости, после чего инициировалось ее зажигание. Для установления режима стационарного горения использовалась нагнетательная система 20, обеспечивающая постоянство скоростей продуктов сгорания в канале 13. Для равномерного прогрева цилиндра 13 после зажигания жидкости выдерживался временной интервал 150–200 с. По истечении этого времени включался распылитель 12, соединенный патрубком с емкостью 11 (предварительно заполненной водой) и настроенный в соответствии с требуемыми параметрами распыла. При этом осуществлялся вдув полидисперсного капельного потока во внутреннюю полость цилиндра 13 и видеофиксация процесса тушения видеокамерами 1–4.

В качестве горючих жидкостей в экспериментах использовались: автомобильный бензин с октановым числом 92, авиационный керосин ТС-1, технический ацетон (диметилкетон по ГОСТ 2768–84), технический спирт (этиловый синтетический по ГОСТ Р 52574–2006), а также легкая нефть плотностью $\rho \approx 667 \text{ кг/м}^3$ (Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение, разведочная скважина 75). Темпера-

тура пламени и продуктов сгорания T_g в канале 13 контролировалась по всей его высоте вдоль оси симметрии по аналогии с экспериментами [14, 15] с применением вольфрамрений-вольфрамрениевых термопар (диапазон измеряемых температур $0\text{--}2473 \text{ К}$, предел допускаемой погрешности $\pm 0,005 |T_g|$). Измерение начальной температуры тушащего состава (воды) T_w в экспериментах проводилось в емкости 11 и на входе распылителя 12 с помощью двух хромель-копелевых термопар (диапазон измеряемых температур $273\text{--}473 \text{ К}$, систематическая погрешность $\pm 1,5 \text{ К}$).

В ходе исследований фиксировалось: время прогорания горючего вещества t_b при отсутствии тушения; время тушения горючего вещества t_e ; объем затраченной на тушение тушащей жидкости V_e . Тушение считалось успешно достигнутым при условии $t_e \ll t_b$.

Погрешности определения времен t_b и t_e составили 0,5 с, погрешности определения объема V_e не превышали $2 \cdot 10^{-3} \text{ л}$. Систематические погрешности измерения скоростей U_g составили 2,5 %, U_d — 2 %, размеров R_d — 3 %.

Результаты и их обсуждение

В ходе цикла экспериментальных исследований установлены характеристики распыления, при которых реализуются условия ликвидации очага пожара жидкого горючего вещества, характерные времена от начала распыления до прекращения горения t_e , а также объемы воды V_e , затраченной на тушение, при различных параметрах тушащей среды, пламени и продуктов сгорания.

На рис. 2 представлены зависимости характерных времен t_e от начальной скорости движения капель тушащего состава (воды) при скорости высокотемпературных продуктов сгорания $U_g \approx 0,6 \text{ м/с}$ и дисперсности потока $R_d = 0,05 \div 0,20 \text{ мм}$. Эксперименты позволили установить, что при выбранных параметрах капельного потока воды ($R_d = 0,05 \div 0,20 \text{ мм}$, $U_d = 2,0 \div 3,5 \text{ м/с}$) значение скорости $U_g \approx 0,6 \text{ м/с}$ является максимальным, при котором достигаются условия тушения пламени жидких топлив и горючих жидкостей, использованных в опытах.

Следует отметить, что с ростом начальной скорости движения капель тушащей жидкости характерные времена тушения несколько снижаются (см. рис. 2). Полученный результат можно объяснить посредством анализа процессов торможения и разворота капель жидкости в ходе их движения в среде высокотемпературных продуктов сгорания [15]. Так, в условиях относительно невысокой начальной скорости капель ($U_d \approx 2 \text{ м/с}$) запаса их кинетической энергии недостаточно для преодоления сопротивления направленного в противоположную

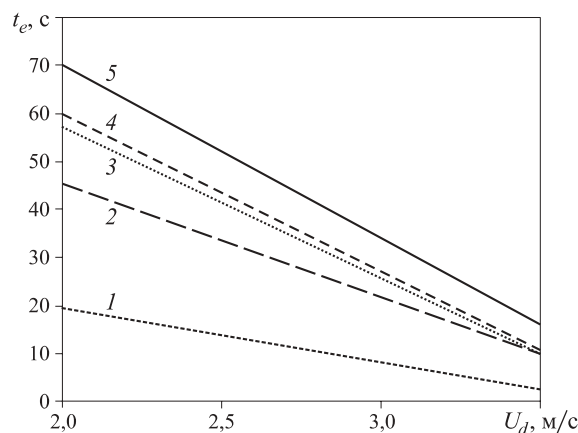


Рис. 2. Аппроксимационные зависимости характерных времен тушения пламени горючих жидкостей t_e от скоростей движения капель воды U_d при скорости продуктов сгорания $U_g = 0,6$ м/с: 1 — нефть; 2 — спирт; 3 — ацетон; 4 — керосин; 5 — бензин

сторону потока высокотемпературных продуктов сгорания. Вследствие этого часть капель (размером $R_d < 0,15$ мм), интенсивно испаряясь и не успев пройти в цилиндрическом канале и 0,5 м, разворачивается в противоположном направлении [15]. Образовавшиеся в результате испарения таких капель водяные пары уносятся из цилиндра высокотемпературным потоком продуктов сгорания, не успевая должным образом снизить температуру внутри цилиндрического канала 13 (особенно в непосредственной близости к горелке 15). С ростом же начальных скоростей движения капельного потока до $U_d \approx 3,5$ м/с капельный поток практически в полном объеме проходит путь от верхней кромки цилиндра 13 (области вдува капель) до горелки 15, при этом практически полностью испаряясь [14, 15]. Образовавшиеся в результате испарения капельного потока водяные пары интенсивно охлаждают весь внутренний объем цилиндра 13. Этим и объясняется значительное снижение характерных значений t_e (см. рис. 2).

Следует отметить, что минимальные времена тушения при выбранных параметрах распыления и характеристиках модельных очагов пожара во всех проведенных экспериментах соответствуют нефти и этиловому спирту (см. рис. 2). Такая особенность связана прежде всего с характеристиками горения данных органических веществ — температурой и высотой пламени. Так, температуры пламенного горения данных жидкостей не превышали, как правило, 750–800 К, в то время как температуры горения остальных органических жидкостей (бензин, керосин, ацетон) нередко доходили до 1150–1200 К. Поэтому для снижения температур пламени и продуктов сгорания нефти и технического спирта до предельных значений (при которых процесс горения прекращался) требовалось существенно меньшее время.

Поскольку эффективность тушения пламени в большей степени зависит от интенсивности испарения тушащей жидкости, представляет интерес экспериментальная оценка масштабов влияния предварительного нагрева распыляемой воды на характерные времена тушения t_e . На рис. 3 представлены зависимости параметра t_e от начальной температуры распыляемой воды T_w при различных скоростях продуктов сгорания используемых органических жидкостей. Можно отметить, что масштабы влияния T_w на времена тушения t_e различаются для разных условий взаимодействия капельного потока с пламенем, а также для разных горючих жидкостей. Так, при скорости продуктов сгорания $U_g \approx 3,5$ м/с и изменении начальной температуры воды T_w от 300 до 330 К изменение характерных времен t_e для пламени керосина и этилового спирта составило не более 25 %, в то время как величина t_e для пламени ацетона при тех же условиях изменилась почти в 10 раз. При этом с ростом T_w в выделенном диапазоне времена тушения возрастают (см. рис. 3).

На рис. 3 иллюстрируется в целом достаточно неочевидный результат, который можно объяснить следующим образом. В работе [16] показано, что при начальной температуре жидкости $T_w \approx 300$ К капли воды с начальным радиусом $R_d \approx 0,16$ мм испаряются полностью при движении в заполненном высокотемпературными газами цилиндре, аналогичном использованному в настоящей работе. При $T_w \approx 330$ К происходит уже полное испарение капель размером $R_d \approx 0,25$ мм [16]. Очевидно, при выбранной дисперсности $R_d = 0,05 \div 0,20$ мм предварительный нагрев тушащего состава до $T_w \approx 330$ К создает такие условия теплообмена, при которых генериру-

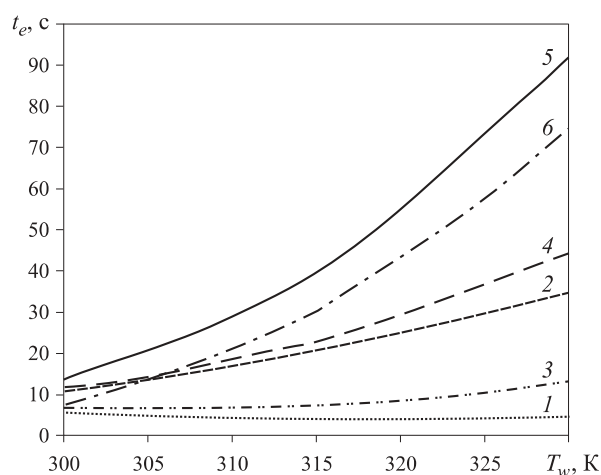


Рис. 3. Зависимость характерных времен тушения t_e типичных горючих веществ от начальной температуры воды T_w дисперсностью $R_m = 0,05 \div 0,20$ мм при $U_m \approx 3,5$ м/с: 1 — керосин, $U_g \approx 0,4$ м/с; 2 — керосин, $U_g \approx 0,6$ м/с; 3 — спирт, $U_g \approx 0,4$ м/с; 4 — спирт, $U_g \approx 0,6$ м/с; 5 — спирт, $U_g \approx 0,8$ м/с; 6 — ацетон, $U_g \approx 0,4$ м/с

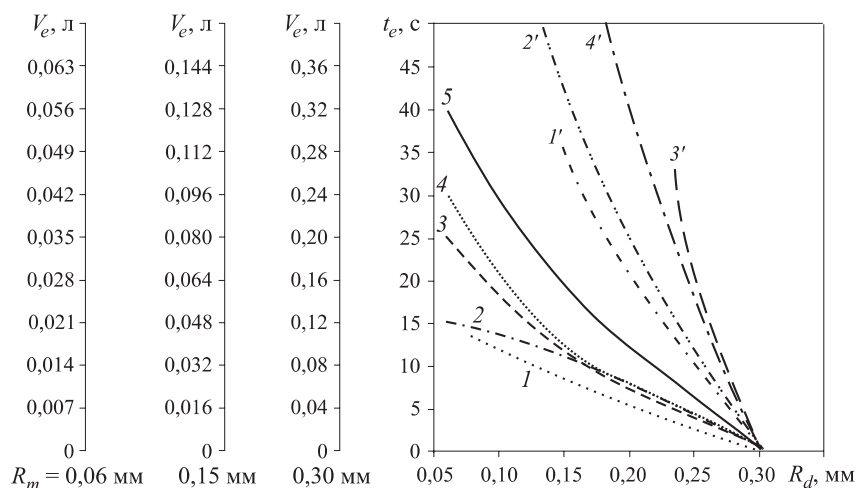


Рис. 4. Зависимость характерных времен тушения t_e типичных горючих веществ от начальных размеров капель R_d ($U_m \approx 2 \text{ м/с}$; $U_g \approx 0,4 \text{ м/с}$) при начальных температурах воды $T_w \approx 300 \text{ К}$ (1–5) и $T_w \approx 325 \text{ К}$ (1'–4'): 1, 1' — нефть; 2, 2' — спирт; 3, 3' — керосин; 4, 4' — ацетон; 5 — бензин

емый форсункой капельный поток полностью испаряется, не пройдя и половины пути внутри цилиндрического канала [16]. Образовавшиеся в результате испарения водяные пары также в полном объеме уносятся встречным потоком продуктов сгорания жидких горючих веществ. В пользу данного утверждения говорит и тот факт, что при достаточно низких скоростях движения газового потока ($U_g \approx 0,4 \text{ м/с}$) рост температуры умеренно сказывается на времени тушения, так как образовавшееся паровое облако на длительное время способно задерживаться в пламенной зоне горения. Рост скоростей газового потока до $U_g \approx 0,8 \text{ м/с}$ приводит к значительному (практически в 10 раз) увеличению времен t_d для этилового спирта, а для керосина, бензина и ацетона — к невозможности осуществления процесса тушения. Такой результат свидетельствует о необходимости оценки целесообразности подогрева тушащей жидкости при ликвидации возгораний при разных параметрах распыления.

На рис. 4 приведены зависимости времен тушения пламен жидких топлив и органических горючих жидкостей t_e от начального радиуса капель воды R_d при исходной температуре тушащей жидкости T_w 300 и 325 К. Данные рис. 4 хорошо согласуются с результатами, представленными на рис. 3: времена t_e возрастают при предварительном нагреве воды до $T_w = 325 \text{ К}$. На рис. 4 приведены также значения объемов тушащего состава V_e , израсходованного распылителем до момента прекращения горения, при разных параметрах распыления. Из рис. 4 видно, что минимальные времена t_e соответствуют самому крупному распылу. Объемы V_e при использовании для тушения потоков с различными средними размерами генерируемых капель R_m имеют близкие значения (в некоторых случаях минимальные значения V_e соответствуют высокой дисперсности потока капель). Однако использование крупнодисперсного потока наряду со своими преимуществами (дости-

жение минимальных значений t_e) имеет один существенный недостаток. При проведении экспериментов зафиксировано, что при тушении очагов бензина, керосина и нефти неиспарившиеся крупные ($R_d > 0,25 \text{ мм}$) капли воды, достигая поверхности горючей жидкости, оседают в ней ввиду большей плотности воды. Спустя примерно 2–5 с предварительно нагретая и скопившаяся в небольшие агломераты вода начинает интенсивно кипеть, что приводит к разбрызгиванию горящего топлива по стенкам цилиндра. Таким образом, на практике такой подход может привести к еще большему распространению возгорания за счет разлета горящих капель жидких органических веществ. При тушении пламен спирта и ацетона установлено, что вода, попавшая в горелку 15 (см. рис. 1), растворяется в горючем веществе. Однако последнее продолжает еще гореть, так как температура пламени в окрестностях модельного очага снижается постепенно. На практике при тушении больших объемов данных веществ (спирта либо ацетона) для снижения температур их горения потребуются колоссальные затраты воды, что нецелесообразно. К тому же при тушении резервуаров с горючими веществами чрезмерное орошение их тушащей жидкостью может вызвать перелив горячей жидкости через край резервуара и еще большее распространение возгорания. Таким образом, в качестве главного условия, обеспечивающего эффективное тушение пламен горючих жидкостей, можно выделить полное испарение капель тушащего состава по достижении ими поверхности горения.

Полученные в ходе исследований экспериментальные данные подтверждают возможность реализации тушения пламен всех использованных в опытах горючих жидкостей потоком распыленной воды. Выявленные при проведении экспериментов диапазоны параметров пламени и продуктов сгорания, а также распыленного жидкостного потока, при которых достигаются условия ликвидации модельного очага пожара, могут быть использованы при раз-

работке нового подхода к методам тушения широкого ряда жидких топлив и органических горючих жидкостей.

Заключение

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о целесообразности применения технологий пожаротушения, основанных на использовании полидисперсных водяных потоков, для ликвидации возгораний на объектах нефтяной, нефтеперерабатывающей и химической промышленности. Представленные в работе

экспериментальные данные могут быть использованы при прогностических оценках скорости испарения капельных водяных потоков в зоне пламени и продуктов сгорания жидких топлив, характерных времен тушения t_e , а также расчетных объемов тушащей жидкости, расходуемой при ликвидации очага возгорания.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-38-20006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. — М. : ВНИИПО МВД России, 1999. — 79 с.
2. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах. — М. : ВНИИПО, 2007. — 58 с.
3. Рекомендации по тушению высокооктановых бензинов АИ-92, АИ-95, АИ-98 в резервуарах. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2009. — 12 с.
4. НПБ 105–95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. — М. : ВНИИПО МВД России, 1996. — 24 с.
5. *Макеев В. И., Пономарев А. А., Строгонов В. В.* Горение и переход к детонации газовых смесей в пространстве с загромождением // Физика горения и взрыва. — 1993. — № 3. — С. 171–174.
6. *Абдурагимов И. М.* О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 60–82.
7. *Дмитриенко М. А., Жданова А. О., Стрижак П. А.* Особенности испарения капель воды в пламенах типичных горючих жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 9. — С. 25–31. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.25-31.
8. *Kuznetsov G. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A.* Evaporation, boiling and explosive breakup of heterogeneous droplet in a high-temperature gas // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2016. — Vol. 92. — P. 360–369. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.061.
9. *Dmitrienko M. A., Zhdanova A. O., Nyashina G. S.* The characteristics of water droplet evaporation in the flames of various flammable liquids // MATEC Web of Conferences. — 2015. — Vol. 23. — Article number 01066. DOI: 10.1051/mateconf/20152301066.
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. *Foucaut J. M., Stanislas M.* Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields // Measurement Science and Technology. — 2002. — Vol. 13, No. 7. — P. 1058–1071. DOI: 10.1088/0957-0233/13/7/313.
12. *Stepanov E. Yu., Maslov V. P., Zakharov D. L.* A stereo PIV system for measuring the velocity vector in complex gas flows // Measurement Techniques. — 2009. — Vol. 52, No. 6. — P. 626–631. DOI: 10.1007/s11018-009-9318-z.
13. *Dehaeck S., Van Parys H., Hubin A., Van Beeck J. P. A. J.* Laser marked shadowgraphy: a novel optical planar technique for the study of microbubbles and droplets // Experiments in Fluids. — 2009. — Vol. 47, No. 2. — P. 333–341. DOI: 10.1007/s00348-009-0668-8.
14. *Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A.* Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area // International Journal of Thermal Science. — 2015. — Vol. 88. — P. 193–200. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.10.002.
15. *Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A.* Water droplet deformation in gas stream: Impact of temperature difference between liquid and gas // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2015. — Vol. 85. — P. 1–11. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.078.
16. *Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Анализ влияния начальной температуры распыленной воды на интегральные характеристики ее испарения при движении через зону “горячих” газов // Инженерно-физический журнал. — 2014. — Т. 87, № 2. — С. 436–444.

Материал поступил в редакцию 26 января 2016 г.

Для цитирования: Волков Р. С., Войтков И. С., Высокоморная О. В. Особенности тушения жидких топлив и органических горючих жидкостей распыленным потоком воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 68–75. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75.

FEATURES OF EXTINGUISHING OF THE LIQUID FUELS AND ORGANIC FLAMMABLE LIQUIDS BY AN ATOMIZED WATER FLOW

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

VOYTKOV I. S., Postgraduate Student of Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: i.voytkov@ges.tomsk.ru)

VYSOKOMORNAYA O. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Postdoc of Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: vysokomornaja@tpu.ru)

ABSTRACT

The work presents the results of experimental researches in extinguishing the model fire source (height is $h = 1.5$ m, diameter is $d = 0.15$ m) of oil, petrochemical products (gasoline, kerosene) and highly-flammable liquids (acetone, ethyl hydroxide). The investigations were conducted by the experimental setup, the operation of which is based on the use of advanced optical diagnostic methods of heterogeneous flows: Particle Image Velocimetry (PIV), Stereoscopic Particle Image Velocimetry (Stereo PIV), Shadow Photography (SP). The heat and mass transfer processes were recorded by high-speed (to 10^5 frames per second) and cross-correlation video cameras.

We obtained the values of extinguishing times for flames of liquids applied in the model fire source. It was revealed that for a given geometric dimensions of the model source (height is $h = 1.5$ m, diameter is $d = 0.15$ m) and parameters of atomization ($R_m = 0.05 \div 0.20$ mm, $U_m = 2.0 \div 3.5$ m/s), the value of $U_g = 0.6$ m/s is the extreme value of combustion product velocity at which the conditions of fire source liquidation are implemented.

We determined the scale of the influence of initial temperature of extinguishing liquid on the characteristic time t_e . It is shown that for selected parameters of model source and atomization conditions, the change in the temperature of extinguishing liquid within the range $T_w = 300 \div 325$ K leads to an increase in the characteristic time t_e to 10 times. Also, there are the values of the calculated volumes of extinguishing medium V_e , expended for extinguishing from the start of atomization to the implementation of the conditions of flame suppression for various dispersability of atomized water flow.

The data (obtained during the experimental researches) for the conditions of flammable liquid extinguishing by the atomized water flows can be used for developing new cost-effective methods of fire liquidation of oil and products of its processing. The received results at the proved efficiency will be possible along with a traditional technique of suppression ("foamy" attack) to apply at suppression of large ignitions on objects of production, storage and oil refining.

Keywords: liquid fuel; organic flammable liquid; flame; atomized water flow; extinguishing.

REFERENCES

1. *Rukovodstvo po tusheniyu nefi i nefteproduktov v rezervuarakh i rezervuarnykh parkakh* [Guidelines for extinguishing oil and petroleum products in tanks and tank farms]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1999. 79 p.
2. *Rekomendatsii po tusheniyu polyarnykh zhidkostey v rezervuarakh* [Recommendations for extinguishing polar liquids in tanks]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2007. 58 p.

3. *Rekomendatsii po tusheniyu vysokooktanovykh benzinov AI-92, AI-95, AI-98 v rezervuarakh* [Recommendations to extinguish the high-octane gasoline AI-92, AI-95, AI-98 in tanks]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009. 12 p.
4. *Fire Protection Standards 105–95*. Determination of categories of rooms and buildings on explosion and fire hazard. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1996. 24 p. (in Russian).
5. Makeev V. I., Ponomarev A. A., Strogonov V. V. Goreniye i perekhod k detonatsii gazovykh smesey v prostranstve s zagromozhdeniyem [Burning and transition to detonation of gas mixtures in the space with clutter]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 1993, no. 3, pp. 171–174.
6. Abduragimov I. M. O mekhanizmax ognetyashchego deystviya sredstv pozharotusheniya [About mechanisms of fire extinguishing action of fire extinguishing means]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 60–82.
7. Dmitrienko M. A., Zhdanova A. O., Strizhak P. A. Osobennosti ispareniya kapel vody v plamenakh tipichnykh goryuchikh zhidkostey [Features of evaporation of water droplets in flames of typical flammable liquids]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 9, pp. 25–31. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.25-31.
8. Kuznetsov G. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A. Evaporation, boiling and explosive breakup of heterogeneous droplet in a high-temperature gas. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, vol. 92, pp. 360–369. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.061.
9. Dmitrienko M. A., Zhdanova A. O., Nyashina G. S. The characteristics of water droplet evaporation in the flames of various flammable liquids. *MATEC Web of Conferences*, 2015, vol. 23, article number 01066. DOI: 10.1051/mateconf/20152301066.
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. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields. *Measurement Science and Technology*, 2002, vol. 13, no. 7, pp. 1058–1071. DOI: 10.1088/0957-0233/13/7/313.
12. Stepanov E. Yu., Maslov V. P., Zakharov D. L. A stereo PIV system for measuring the velocity vector in complex gas flows. *Measurement Techniques*, 2009, vol. 52, no. 6, pp. 626–631. DOI: 10.1007/s11018-009-9318-z.
13. Dehaeck S., Van Parys H., Hubin A., Van Beeck J. P. A. J. Laser marked shadowgraphy: a novel optical planar technique for the study of microbubbles and droplets. *Experiments in Fluids*, 2009, vol. 47, no. 2, pp. 333–341. DOI: 10.1007/s00348-009-0668-8.
14. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area. *International Journal of Thermal Science*, 2015, vol. 88, pp. 193–200. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.10.002.
15. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Water droplet deformation in gas stream: Impact of temperature difference between liquid and gas. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 85, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.078.
16. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Analiz vliyaniya nachalnoy temperatury raspylennoy vody na integralnyye kharakteristiki yeye ispareniya pri dvizhenii cherez zonu “goryachikh” gazov [The analysis of the influence of initial temperature of atomized water on the integral characteristics of its evaporation while moving through the zone of “hot” gases]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Engineering and Physics Journal*, 2014, vol. 87, no. 2, pp. 436–444.

For citation: Volkov R. S., Voytkov I. S., Vysokomornaya O. V. Osobennosti tusheniya zhidkikh topliv i organicheskikh goryuchikh zhidkostey raspylennym potokom vody [Features of extinguishing of the liquid fuels and organic flammable liquids by an atomized water flow]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 68–75. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.68-75.

АДРЕСНЫЕ СИСТЕМЫ. К ВОПРОСУ ОБ ИЕРАРХИИ И АДРЕСНЫХ КОМПОНЕНТАХ

...если звезды зажигают
— значит — это кому-нибудь нужно?
В. В. Маяковский

Часто в жизни довольно простые вещи настолько хорошо кем-то “упакованы”, что сразу и не разберешь, кто и зачем напускает туман.

Так, например, случайно привлекло внимание то, что все определения адресных систем (или приборов) в нормативных документах даются исходя из понятия “адресный извещатель”, а не из понятия “адресность”, целью и смыслом которого является точная идентификация места тревоги или пожара. Такой перенос акцентов с цели на техническое средство показывает, что основным в данном случае является не точное определение места пожара, а то, что нужно использовать именно адресные пожарные извещатели. Это отражено в различных нормативных документах. К примеру, в п. 5.4.10 СП 1.13130.2009 записано: “...В жилых зданиях с общей площадью квартир на этаже секции (этаже коридорного, галерейного дома) от 500 до 550 м² допускается устройство одного эвакуационного выхода из квартир: при высоте расположения верхнего этажа не более 28 м — в обычную лестничную клетку при условии оборудования передних в квартирах датчиками адресной пожарной сигнализации...”. Возникает простой вопрос, что в результате хотят получить? Адресность? Но ведь ее просто обеспечить и на базе пороговой системы включением в каждый шлейф не более одного пожарного извещателя (или двух — при двухпороговой схеме). Получается, что нам нужна не фактическая адресность, а именно установка адресных извещателей! Так что мы хотим — “шашечки или ехать”? Откуда брать оптимальные технические решения?

Технологическая мифология в народном хозяйстве...

Чтобы ответить на поставленные вопросы, рассмотрим основные достоинства адресных систем, широко рекламируемые их приверженцами:

- 1) возможность экономии дорогостоящего кабеля (*да, бывает!* — Примеч. авт.);
- 2) высокая надежность функционирования (*при правильной топологии...*);
- 3) возможность прогнозирования развития ситуации и раннего обнаружения пожара (*при должной визуализации и алгоритмизации...*);

4) точная идентификация места тревоги или неисправности (*порой с избыточной точностью — “до каждого извещателя”*).

Постановка вопроса

Есть два возможных варианта достижения адресности при обнаружении пожара или неисправности с селективностью:

- *вариант № 1:* с точностью до извещателя на базе адресных пожарных извещателей;
- *вариант № 2:* с точностью до помещения (участка помещения, пожарной зоны, пожарного отсека) на базе адресных приборов приемно-контрольных и управления (ППКиУ) (многокомпонентных приборов приемно-контрольных и управления пожарных (ППКиУП) иерархической системы пожарной сигнализации (СПС) согласно EN 54-1:1996 “Fire detection and alarm systems — Part 1: Introduction”) и пороговых извещателей.

Фактология в профессиональной среде

Да, согласен: об экономии кабеля можно говорить в отношении классических адресных СПС, состоящих из адресного приемно-контрольного прибора, адресной линии и адресных извещателей и устанавливаемых в офисах с большими защищаемыми площадями, на промышленных объектах с развитой инфраструктурой технологических процессов. Поэтому данные варианты находятся вне конкуренции и не являются предметом нашего обсуждения.

Однако если мы обратимся к типовым объектам, имеющим большую плотность архитектурной компоновки, с высокой удельной плотностью оснащения оборудованием противопожарной защиты в пересчете на 1 м² в сочетании со сложной структурой деления собственности (множественность и высокая плотность хозяйствующих субъектов и деление сервитутов), то здесь обнаруживаются преимущества построения противопожарных систем по варианту № 2.

Яркой иллюстрацией подобного объекта как раз и выступают жилые дома повышенной этажности. К примеру, типовой этаж, состоящий из минимизи-

рованного холла общедолевой собственности ТСЖ, с множеством квартир, отделенных друг от друга хозяйствующими субъектами, объединенных между собой единой системой автоматической противопожарной защиты (АППЗ). Учитывая вышесказанное, выбираем предметную область для детального сравнения обоих вариантов — жилые многоквартирные дома повышенной этажности, так как именно здесь вариант № 2 может составить реальную конкуренцию варианту № 1 на данном этапе развития технического прогресса.

Развенчание мифов

Миф 1. Адресная система *всегда* дает экономию за счет экономии сертифицированного кабеля по сравнению с неадресными системами, в ряде случаев до 30 %.

При строительстве жилья, когда в систему пожарной сигнализации добавляются адресные модули управления исполнительных устройств противопожарной автоматики и оповещателей пожарных, система автоматической пожарной сигнализации (АПС), как в сказке, превращается в АППЗ (АПЗ, АСУ ПЗ, АСУ ПВ, АСУ ПДЗ и т. п.) (см. рисунок). Тогда возникает необходимость в обеспечении модулей управления и контроля электропитанием (12; 24 и 220 В), а значит, к приборам требуется прокладка кабельных линий от исполнительных устройств (линий управления, линий контроля положения и др.). Таким образом, выигрыш адресных систем не становится уже таким очевидным.

Так, например, типовым оборудованием, которым оснащается жилой этаж, являются устройства, требующие управления с контролем. Как правило, на каждом этаже секции жилого дома устанавливается как минимум один клапан дымоудаления.

Теперь прикинем себестоимость такого типового этажа:

1) *протяженность линий связи и шлейфов сигнализации.* Грамотный проектировщик может минимизировать протяженность кабельных линий при обоих вариантах построения. При сравнении систем мы увидим лишь незначительное (на треть) увеличение протяженности кабельных линий в варианте № 2, что при средней протяженности этажного кабеля 100 м дает величину удорожания 500–1000 руб. на этаж.

Запомним: 1000 руб. в пользу варианта № 1;

2) *основное оборудование.* Если суммировать стоимость только адресных модулей управления с контролем для одного клапана и одной сирены (возьмем среднестатистическую стоимость модулей российских фирм), то увидим, что распределенные адресные этажные устройства по стоимости будут сопоставимы с этажным неадресным прибором (по его

среднестатистической стоимости в российских фирмах). Делаем вывод: стоимость базового оборудования не приводит к увеличению себестоимости в обоих вариантах реализации.

Запомним: 1 : 1 — ничья;

3) *оборудование извещателей и оповещателей.*

А теперь проанализируем разницу в стоимости адресных и пороговых извещателей, локализаторов короткого замыкания (блоков изолирования адресной петли) и получим, что стоимость реализации варианта № 1 в 3–4 раза выше, исходя из различий в стоимости адресного и неадресного оборудования. Это как раз сопоставимо со стоимостью этажного неадресного прибора, что дает величину удорожания 3000–5000 руб. на этаж.

Запомним: 4000–5000 руб. в пользу варианта № 2;

4) просчитаем варианты и увидим, что выигрывает вариант № 2 с отрывом:

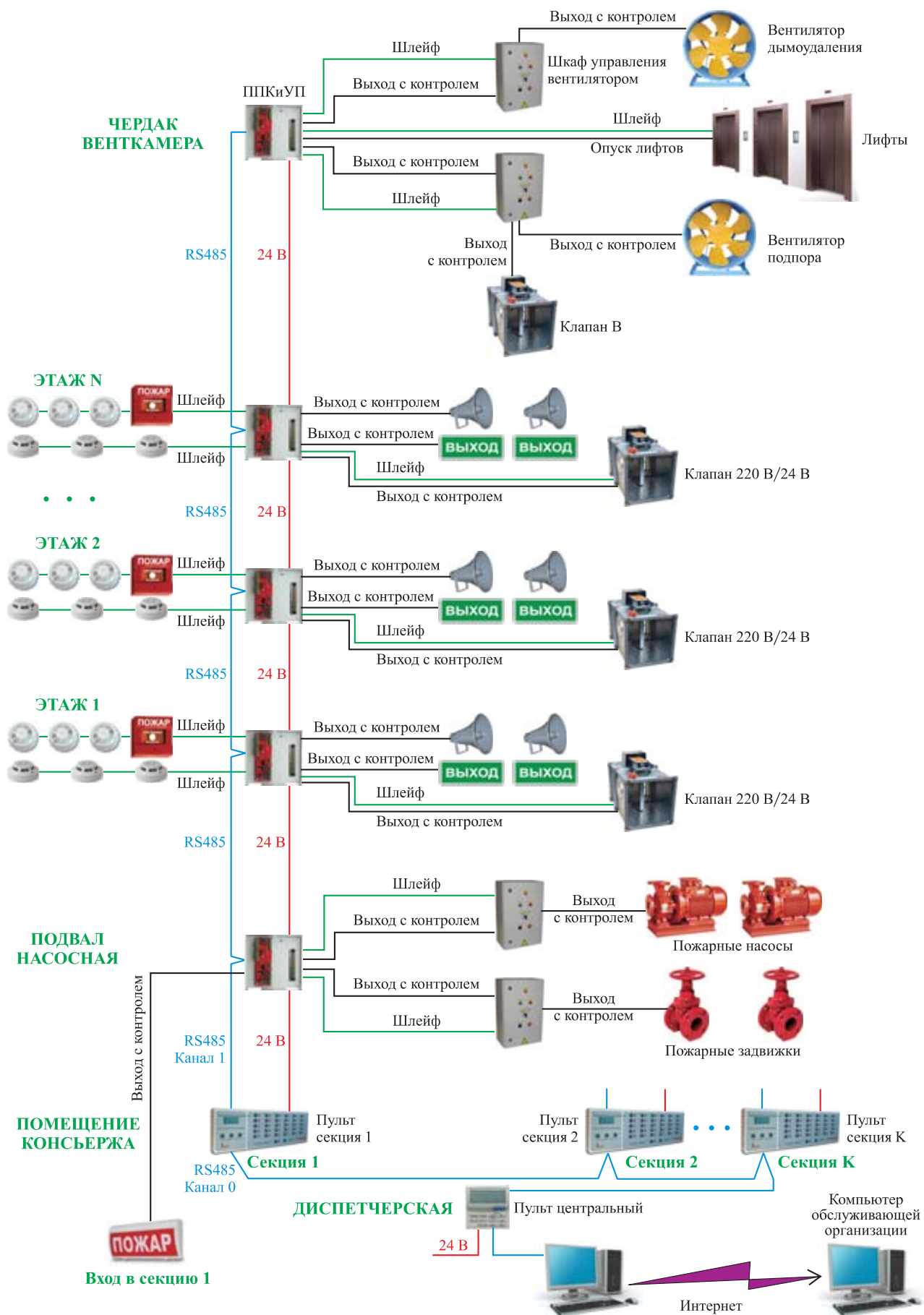
- 3000–5000 руб. на этаж;
- до 100 000 руб. — при высоте дома 12 этажей с двумя жилыми секциями.

Таким образом, миф № 1 не является достоверным. Применяя второй вариант реализации адресных систем, можно запроектировать топологию АППЗ не только с аналогичными стоимостными показателями, но и с более низкой стоимостью реализации проекта.

Миф 2. Адресная система обеспечивает высокую надежность функционирования.

Объясняют это использованием кольцевого шлейфа с локализаторами короткого замыкания. Повреждение кольцевого шлейфа позволит обеспечить дальнейшее функционирование системы исключением поврежденного участка с помощью устройств локализации короткого замыкания.

Конечно, это замечательно, однако есть одно но... Это рассчитано на единичные повреждения, а они характерны для объектов, оборудованных адресной системой пожарной сигнализации, к элементам которой доступ строго ограничен (склады, школы, магазины, промышленные предприятия). Мы же имеем дело с другим случаем. Представим себе жилой дом и сотни инициативных людей, считающих, что в своей квартире они могут делать все, что угодно. В результате в период массовых ремонтов после заселения и в последующие периоды адресная линия, проходящая через все квартиры, будет повреждена строителями “еврореонта” так, что вся система автоматической противопожарной защиты будет выведена из строя. В этой ситуации, пожалуй, есть только один вариант спасения адресной системы — это применение изолирующих устройств на адресной петле с ответвлением в каждую квартиру, но говорить об экономии в этом случае еще сложнее. Однако сторонников адресных систем это не волнует, ведь для



Распространенная топология АППЗ ЖКХ

них главное — продать как можно больше *адресных извещателей*. Остается только уповать на ручной пуск пожарных систем, но в случае неработающей адресной системы и ручной пуск не поможет. На наш взгляд, положение еще более печальное: намечается тенденция к “ручному” обнаружению пожара, как это делали специальные наблюдатели в средние века.

Основной недостаток большинства адресных систем — принцип центрального управления, когда анализ и принятие решения возлагаются на единственный вычислитель — процессор центрального прибора. Такой подход возник на определенном уровне развития (доступности) процессорной базы, в 80-е годы прошлого века. Выход из строя хотя бы одного транзистора процессора центрального адресного прибора может привести к коллапсу всей системы безопасности.

Проиллюстрируем уязвимость адресной системы на простом примере. Имеется генерал в отдельном бункере, от которого протянута кольцевая телефонная магистраль. У генерала есть войско, состоящее из наблюдателей (извещателей) и артиллеристов (модулей управления). Каждый воин имеет телефонную трубку без номера набора и может только принимать и отвечать на вызов генерала, но не может сам ему позвонить или связаться напрямую с другим воином в случае опасности. Алгоритм функционирования системы следующий: генерал звонит по очереди наблюдающим и артиллеристам, принимает информацию от наблюдающих и дает команду артиллеристам, которые без команды ничего не делают. Бредовая ситуация? Так это же наша адресная система с небольшой поправкой: и питание бойцам приходит по той же линии, что и телефонные звонки. Что мы имеем? Интеллектуальные адресные элементы хотя и имеют достаточно вычислительных ресурсов и приличную стоимость в автономном режиме, но не способны предупредить людей о пожаре и ничего не могут делать без команды своего “генерала”.

Между тем, уже давно существуют системы с распределенным управлением, состоящие из недорогих пороговых приборов, объединенных в сеть. В таких системах осуществляется адресация ресурсов с точностью до шлейфа или выхода. К сожалению, в нормативных документах до сих пор не дано четкого названия этих систем. Называть их многокомпонентными приборами некорректно, так как это не приборы, включающие в себя несколько блоков и модулей. Это системы, состоящие из монолитных приемно-контрольных приборов, которым больше подошло бы название “квазиадресные”. Каждый такой прибор самостоятельно принимает решение и предупреждает о пожаре в зоне своего влияния, даже если будет повреждена линия связи с другими прибора-

ми. Выход из строя хотя бы одного прибора в системе с распределенным управлением не приводит к коллапсу всей системы безопасности, как в случае с адресной системой с центральным управлением. Здесь другая аналогия: каждый боец сочетает в себе и наблюдателя, и артиллериста, и имеет способность самостоятельно принимать решения и действовать при возникновении опасности, даже если потеряна связь с центром. Такая квазиадресная система не только более живуча, но и более естественна с точки зрения здравого смысла, так как не содержит ограничений адресных систем с центральным управлением, свойственных тому этапу развития микропроцессорной техники, на котором адресная система с центральным управлением была технически и экономически оправдана.

Итак, одна ситуация, когда имеется один прибор и один общий адресный шлейф, а против них множество “вредоносных факторов”, и другая, когда есть множество распределенных приборов и такое же количество “вредителей”. В одну мишень уж точно легче попасть...

В частном случае, при включении в шлейфы порогового прибора распределенной системы не более одного пожарного извещателя, такая система приобретает адресность определения места тревоги.

Однако простые и эффективные решения не всегда и не всем нужны. Ведь проще получить выгоду как раз при принятии сложных, экономически неэффективных решений.

Таким образом, миф № 2 не является достоверным. Применяя второй вариант реализации адресных систем, можно запроектировать топологию АППЗ не только с аналогичными показателями устойчивости системы, но и с более высокими показателями надежности.

Миф 3. Раннее обнаружение пожара.

Да, идея очень красивая. Но увы, более чем за 30 лет существования адресно-аналоговых систем она так и не была реализована. Причина кроется в том, что не были созданы и реализованы алгоритмы обработки информации, позволяющие обеспечить раннее обнаружение пожара.

Таким образом, и миф № 3 не является достоверным. Применяя оба варианта реализации адресных систем, можно запроектировать системы АППЗ практически с идентичными параметрами раннего обнаружения пожара в пожарных зонах.

4. Не миф. Точная идентификация места тревоги (с точностью до адресного извещателя). Странно, если бы и это оказалось мифом, ведь ради этого адресные системы и создавались.

Однако забавно, что поклонники адресных систем в жилых домах, соглашаясь с тем, что адресный

шлейф нельзя тянуть через квартиры из-за большой уязвимости, предлагают ставить на каждом этаже адресный расширитель и тянуть от него по квартирам шлейф неадресных извещателей. Другими словами, переплатив почти вдвое при установке адресной системы, ее делают неадресной. Зачем же тогда устраивать адресную систему в жилых домах, если при этом не ставится задача обеспечить адресность до каждой квартиры? Понятно, что обеспечение адресности до квартиры в большинстве случаев и не требуется по нормам. Тем не менее адресные системы хорошо продаются...

Итак, подведем итог фактологии в профессиональной среде.

1. Использование адресных систем пожарной сигнализации на объектах с массовым присутствием элементов пожарной автоматики (жилые высотные дома) не дает значительной экономии кабеля по сравнению с неадресными системами.

2. Затраты на адресные элементы управления пожарной автоматикой сопоставимы со стоимостью этажных приборов неадресных систем.

3. С учетом существенной разницы в стоимости наиболее массовых элементов (адресных извещателей и пороговых извещателей) стоимость адресных систем АППЗ жилых домов существенно превышает стоимость неадресных систем.

4. Прокладка общей адресной линии по всем квартирам делает адресную систему весьма уязвимой, вплоть до тотальной неработоспособности всей системы АППЗ.

5. Из теории надежности следует, что централизованная классическая адресная система менее надежна, чем распределенная квазиадресная система, состоящая из распределенных этажных приборов, имеющих определенную степень функциональной «самостоятельности».

6. Основное декларируемое достоинство адресных систем — раннее определение пожара — до сих пор не реализовано.

Реплика

А теперь попробуем проанализировать события последних лет, происходящие в области активных противопожарных систем безопасности и связанного с ними нормотворчества.

Если встать на место производителя адресных извещателей и вспомнить крылатые слова К. Маркса о капиталистах («...на что способны капиталисты для достижения своей прибыли...»), то все становится вполне очевидным.

Задача сделать из обычного извещателя (они почти все микропроцессорные) адресный не требует почти никаких аппаратных затрат! Подкорректировал программу и получил адресный извещатель

— устройство, имеющее другую ценовую рыночную шкалу, существенно выше пороговых извещателей. Отсюда возникает большой соблазн делать адресные извещатели, взяв имеющиеся готовые пороговые и незначительно доработав их. И вот уже готов чудо-извещатель, носитель прибыли. Но этого мало: нужно еще разработать и изготовить прибор для адресного извещателя, а иначе «слона не продать». Значит, расходы на разработку прибора и других адресных элементов будут компенсироваться продажами адресных извещателей. Но адресная система и так дороже пороговой и уступает по уязвимости распределенной системе... Вот покупатели и не спешат.

Производители тоже не спешат заниматься разработкой оригинальных алгоритмов для раннего определения пожара... Зачем усложнять? Вместо перспективных разработок производители рьяно взялись за «продвижение» адресной системы, причем довольно странным способом. Для этого они стали:

- опорочивать недорогие пороговые системы в общественном сознании (например, публикацией статьи, где на сомнительных примерах (комбинированный шлейф) научнообразно доказывали, что пороговый шлейф имеет существенные ограничения, дающие основание говорить о нецелесообразности и запрете применения пороговых систем);
- обеспечивать под видом благих намерений нормативный диктат адресных систем, нераспределенных, с пороговыми извещателями (например, жесткое предписание в СП 1.13130.2009 относительно установки адресных извещателей на объектах определенной категории);
- создавать нормативные условия, удорожающие стоимость неадресных систем (например, можно нормативно увеличить количество дорогостоящих проводов в неадресных системах введением двух вводов питания в каждом приборе с отдельной прокладкой трасс основного и резервного питания);
- проводить агрессивную работу с потенциальными заказчиками («разъясняя» им с точностью до наоборот экономическую выгоду от применения адресных систем по сравнению с пороговыми, предъявляя при этом заказчику неудачные технические решения конкурентов, а сомневающимся добивая «сказками» о дикой экономии проводов);
- вводить в заблуждение посетителей сайтов (заявляя, что сейчас на рынке продукция только двух-трех производителей соответствует нормам, и добавляя, что «неадресные системы» конкурентов «лучше вообще не ставить в проекты в связи с изменениями нормативных требований, которые вот-вот появятся»).

В общем-то ничего нового — обычная конкурентная борьба, обычные примеры недобросовестной конкуренции...

Сравнительно недавно все мы наблюдали чудом не реализованную попытку вообще отменить сертификационные испытания пожарной техники. А что, простой выход! Зачем делать качественный продукт, когда есть возможность отменить сертификацию?!

Почему мы видим такие усилия по продвижению адресных извещателей? Неужели настолько плохи дела с их продажей? Не лучше ли создать другой, более востребованный на рынке продукт? Почему мы так заикнулись на данном этапе технологического витка развития приборостроения?

Мы возлагаем большую надежду на наших творцов нормативной базы, ведь будущее приборостроения пожарных систем целиком зависит от того, смогут ли они распознать под маской благих намерений определенные корпоративные интересы и противостоять их давлению, когда порой эти интересы не укладываются в насущную необходимость

требований по обеспечению пожарной безопасности и противоречат соображениям здравого смысла.

Послесловие

Несмотря на жесткость высказанной позиции по отношению к адресным извещателям, прошу рассматривать статью не как борьбу с этими реально перспективными устройствами, за которыми, несомненно, будущее, а как попытку призвать профессиональное сообщество целесообразно подходить к проектированию, применению и цивилизованному продвижению на рынке приборов пожарной автоматики.

Сложившуюся же ситуацию я склонен рассматривать как “болезнь роста отрасли” в надежде, что в ближайшем будущем разработчики найдут компромиссные схмотехнические решения, руководствуясь технико-экономической целесообразностью применения. Ведь заказчики систем противопожарной безопасности в условиях экономического кризиса реально нуждаются в эффективных средствах активной противопожарной защиты.

© Д. А. ФРОЛОВ

советник директора Ленинградского отделения Центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС)
(Россия, 196128, г. Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 11;
e-mail: d.frolov@loniis.ru)



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

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

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

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

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

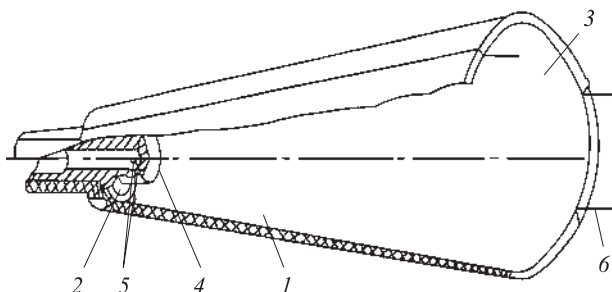
**ВОПРОС:**

Углекислотные огнетушители являются неотъемлемой частью противопожарного оборудования, предназначенного для эффективного тушения возгораний электрооборудования, а также для тушения пожара в местах, где необходимо применение огнетушащих составов, не наносящих вред защищаемому оборудованию (компьютерная техника, радиоэлектронная аппаратура и т. п.) или объектам (архивы, музеи и т. д.). Общий принцип тушения заключается в том, что углекислота, находящаяся в баллоне огнетушителя в жидком состоянии, при выходе из него переходит в газообразное состояние. Этот процесс сопровождается увеличением объема углекислоты в 400–500 раз, что сопровождается резким снижением температуры до минус 70 °С. Попадая на горящее вещество, углекислота охлаждает его, и тем самым осуществляется тушение. Большая скорость выхода потока из раструба огнетушителя позволяет сбить пламя, что также повышает эффективность тушения огнетушителем. В 80–90-х годах были зафиксированы случаи удара людей электрическим током при тушении углекислотными огнетушителями возгораний не только отключенных от напряжения электроустановок, но и предметов, не связанных с электричеством. Причиной этого явления оказалось накопление больших зарядов статического электрического на корпусе раструба при вылете из него углекислоты. Существуют ли какие-либо технические решения по устранению опасности удара человека разрядами статического электричества при тушении пожаров углекислотными огнетушителями?

ОТВЕТ:

В 1986 г. сотрудниками ВНИИПО было разработано выпускное устройство огнетушителя [1], которое позволило обеспечить безопасную работу с огнетушителем при тушении пожара. Выпускное устройство огнетушителя (см. рисунок) представляет собой раструб с расположенными на его боковой части электропроводящими элементами 6 (аналоги заземлителей). В раструбе 1 из металла или пластмассы выполнены входное (2) и выходное (3) отверстия, через которые подается огнетушащее вещество (углекислота). Вблизи входного отверстия расположен металлический насадок 4 с отверстиями 5.

Основной задачей элементов 6 является нейтрализация накопленного на корпусе раструба заряда статического электричества за счет образования на концах этих элементов коронных разрядов. Для обеспечения эффективного коронирования необходимо, чтобы данные элементы выступали за пределы раструба на 15–30 мм. Увеличение длины свыше 30 мм приводит к интенсивному осаждению твердой фазы углекислоты (снега) и к закупорке выходного устройства. При длине менее 15 мм снижается эффективность коронирования и возрастает потенциал на огнетушителе. Выступающие элементы можно располагать на



Выпускное устройство углекислотного огнетушителя с аналогами заземлителей: 1 — раструб; 2, 3 — входное и выходное отверстия выпускного устройства соответственно; 4 — насадок с отверстиями 5; 6 — электропроводящие элементы (аналоги заземлителей)

внутренней и/или наружной поверхности раструба. В случае применения металлического раструба коронирующие аналоги заземлителей 6 целесообразно крепить непосредственно к торцу раструба.

В качестве коронирующих элементов можно использовать проволоку, электропроводящие нити, полоски металлической фольги или покрытия из металла.

Большое влияние на раннее образование короны и снижение величины тока и потенциала на огнетушителе, воздействующего на человека, оказывает кривизна поверхности коронирующих элементов. В целях обеспечения безопасности человека при работе с огнетушителем принято, что криволинейные поверхности выступающих элементов должны иметь значения радиусов кривизны r коронирующих поверхностей, не превышающие $0,1r_0$, т. е. $r \leq 0,1r_0$ (где r_0 — наибольший радиус кривизны коронирующей поверхности, обеспечивающей начало коронирования при заданном безопасном потенциале огнетушителя φ).

Значение r_0 следует определять по формуле [2]:

$$r_0 = \frac{\varphi}{2,72 \cdot 10^6} - 0,054 \left(\sqrt{(0,027)^2 + \frac{\varphi}{2,72 \cdot 10^6}} - 0,027 \right).$$

В качестве безопасного может быть принято значение $\varphi = 12$ кВ, которое обосновывается суммарным испытательным напряжением изолирующих средств защиты (диэлектрические перчатки, боты и коврики), применяемых для защиты оператора от поражения электрическим током. При подстановке в формулу значения $\varphi = 1,2 \cdot 10^4$ В получим радиус кривизны $r_0 = 2,3$ мм. Следовательно, гауссов радиус кривизны коронирующих элементов должен составлять не более 200 мкм.

Данное устройство снижает опасность удара человека накопленным разрядом статического электричества и исключает пробой диэлектрических средств

защиты, что является важным при тушении пожаров в электроустановках под напряжением.

В качестве дополнительной меры защиты корпус огнетушителя можно соединить с контуром заземления гибким тросиком сечением от 10 до 16 мм². Длина троса должна выбираться с учетом размеров пространства, в пределах которого предполагается использовать данный огнетушитель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авт. свид. 1258433 А1 СССР. МПК А62С 31/14. Выпускное устройство огнетушителя / Веревкин В. Н., Навце-

ня Н. В., Глазатов Ю. В., Поединцев И. Ф., Попов Б. Г. — № 3870995/29-12; заявл. 21.03.85; опубл. 23.09.86, Бюл. № 35.

2. Веревкин В. Н., Смелков Г. И., Черкасов В. Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. — М. : МИЭЭ, 2006.

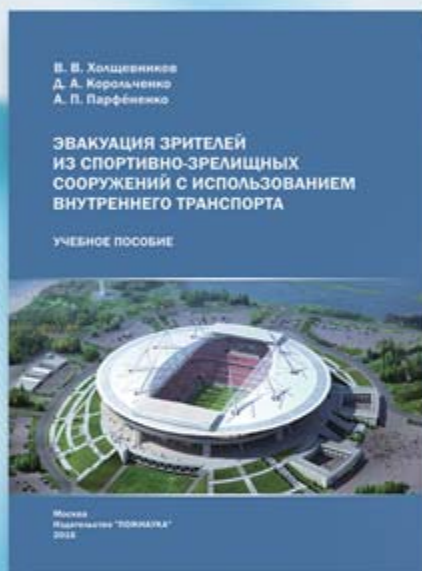
Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ** (e-mail: h_a_s@live.ru)



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



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

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

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

Для заказа книги пишите нам по адресу:

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

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:
mail@firepress.ru.

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.

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

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



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

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



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

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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



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

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

ISSN 0869-7493

Открыта
подписка
на журнал

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

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



Научно-исследовательские
и сертификационные
испытания:

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

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru