

1-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

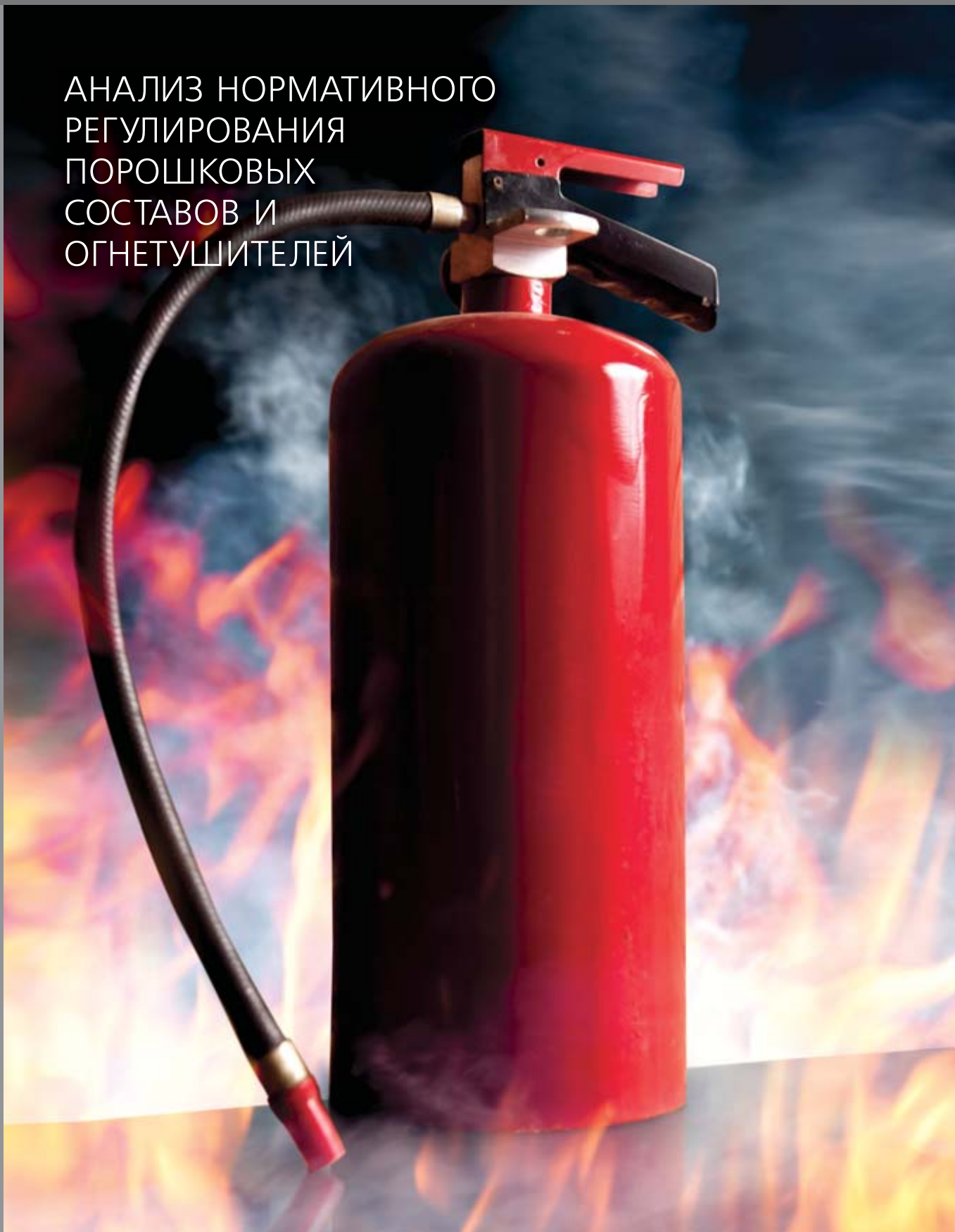
ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН  **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ
ПОРОШКОВЫХ
СОСТАВОВ И
ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ САЛОН

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2013

21-24 МАЯ

Москва, Всероссийский выставочный центр,
Павильон 75

Защита
и Оборона

Технические средства пограничного и таможенного контроля



Техника
охраны



Пожарная безопасность



Средства
спасения



Медицина катастроф



Экологическая
безопасность



Промышленная безопасность



Ядерная
и радиационная безопасность



Безопасность
информации и связи



Транспортная
безопасность



www.isse-russia.ru

РЕКЛАМА

Организаторы:



Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий



Министерство
внутренних дел
Российской Федерации



Федеральная служба
по военно-техническому
сотрудничеству (ФСВТС России)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Международная выставка "Развитие инфраструктуры юга России – IDES", 16–18 октября 2012 г., г. Краснодар, Россия

4

International Infrastructure Development Exhibition – South of Russia, 16–18 October 2012, Krasnodar, Russia

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

КРАСНОВ Е. В., ВАЙСМАН М. Н.,
СМИРНОВ А. С., СМЕРНОВ С. А.
Анализ нормативного регулирования порошковых составов и огнетушителей в России и за рубежом

7

KRASNOV Ye. V., VAYSMAN M. N.,
SMIRNOV A. S., SMIRNOV S. A.
Analysis of the Normative Regulation of Powder Formulations and Fire Extinguishers in Russia and Abroad

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

АНДРЕЕВ Г. Г., ЗАХАРЕВИЧ А. В.,
ПАНИН В. Ф., СТРИЖАК П. А.
Численное и экспериментальное исследование предельных условий возгорания ткани, пропитанной горючей жидкостью, при локальном нагреве

15

ANDREEV G. G., ZAKHAREVICH A. V.,
PANIN V. F., STRIZHAK P. A.
Numerical and Experimental Investigation of Limited Conditions for Ignition of Combustible Liquid Vapors from Impregnated Cloth at Local Heating

БАРАНОВСКИЙ Н. В.
Новый подход к оценке пожарной опасности лесных массивов в условиях действия сфокусированного солнечного излучения

24

BARANOVSKIY N. V.
New Approach to Fire Danger Estimation of Forest Areas in Conditions of Action of the Focused Sunlight

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

АЛЕКСЕЕВ С. Г., АЛЕКСЕЕВ К. С., БАРБИН Н. М.
Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1)

31

ALEXEEV S. G., ALEXEEV K. S., BARBIN N. M.
Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VIII. Esters (Part 1)

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

ТРИФОНОВА О. Н.
Оптимизация огнезащиты металлических конструкций

58

TRIFONOVA O. N.
Optimization of Fire Retardance for Metal Structures

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ГОРЕВ В. А., САЛЫМОВА Е. Ю.
Влияние условий газообмена и начальной температуры на формирование опасных факторов пожара на начальной стадии его развития

63

GOREV V. A., SALYMOVA Ye. Yu.
The Effect of Conditions of Gas Exchange and the Initial Temperature of the Formation of Dangerous Fire Factors at the Initial Stage of Fire

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ХОАНГ ТХО ДЫК, КОРОЛЬЧЕНКО А. Я.
Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре

69

HOANG THO DUC, KOROLCHENKO A. Ya.
Selection System of Warning and Evacuation Control during a Fire

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

FIRE ENGINEERING

ГОРБАНЬ Ю. И., ГОРБАНЬ М. Ю., СИНЕЛЬНИКОВА Е. А.
Установки автоматического пожаротушения на базе лафетных стволов с осцилляторами для защиты объектов энергетики

76

GORBAN Yu. I., GORBAN M. Yu., SINELNIKOVA Ye. A.
Automatic Installations of Fire Extinguishing on Base of Oscillating Fire Monitors for Protection of Energetic Units

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КРЯЖИЧ О. А., ЗАХМАТОВ В. Д.
Модели управления импульсной взрывопожарной защитой химического предприятия

81

KRYAZHICH O. A., ZAKHMATOV V. D.
Models of Control of Pulse Protection Against Explosions and Fires at the Chemical Enterprise

ВОПРОС — ОТВЕТ

89

QUESTION – ANSWER

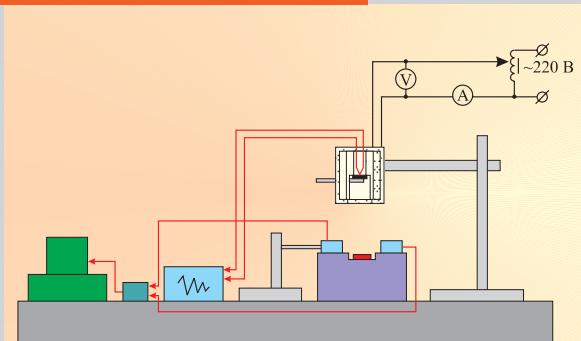
Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются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



Развитие инфраструктуры юга России — IDES



Нормативное регулирование порошковых составов



Исследование предельных условий возгорания



Огнезащита металлических конструкций



Установки автоматического пожаротушения

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я.

д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Россия)

Зам. председателя Редакционного совета:

Глуховенко Ю. М.

д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ (Россия)

Мольков В. В.

д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

Баратов А. Н.

д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Барбин Н. М.

д. т. н., профессор (Россия)

Брушлинский Н. Н.

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

Кириуханцев Е. Е.

к. т. н., профессор (Россия)

Корольченко Д. А.

к. т. н. (Россия)

Меркулов В. А.

к. т. н. (Россия)

Мишуев А. В.

д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

Ройтман В. М.

д. т. н., профессор, академик НАНПБ и ВАНКБ (Россия)

Сенин Н. И.

к. т. н., профессор (Россия)

Серков Б. Б.

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

Пузач С. В.

д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ (Россия)

Теличенко В. И.

д. т. н., профессор (Россия)

Топольский Н. Г.

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

Тычино Н. А.

д. т. н., член-корреспондент МАНЭБ (Белоруссия)

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)

Учредитель — ООО "Издательство "Пожнаука"

Тел./факс: (495) 228-09-03, (495) 735-28-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94.

121352, г. Москва, а/я 43.

E-mail: izdat_pozhnauka@mail.ru, mail@firepress.ru.

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

Подписано в печать 10.01.13.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



SIPS
ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ,
ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА



ICT
СВЯЗЬ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ,
ИТ-ТЕХНОЛОГИИ



16–18 октября 2012 г.
г. Краснодар, Россия

Международная выставка РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЮГА РОССИИ

С 16 по 18 октября 2012 г. в Краснодаре в четвертый раз прошла Международная промышленная выставка **“Развитие инфраструктуры юга России — IDES”**, организатором которой является Группа компаний ITE, занимающая лидирующие позиции на рынке выставочных услуг в России.

Международная промышленная выставка “Развитие инфраструктуры юга России” объединила семь специализированных разделов:

- “Транспортировка, хранение газа, системы газораспределения — GAS RUSSIA”;
- “Транспортировка и переработка нефти. АЗС: оборудование и строительство — PETROLEUM”;
- “Энергетика и ресурсосбережение — EPIS”;
- “ЖКХ: сети и коммуникации — ECIS”;
- “Экологические технологии — ECOS”;
- “Охрана, безопасность, противопожарная защита — SIPS”;
- “Связь, телекоммуникации, ИТ-технологии — ICT”.

Выставка IDES привлекла внимание государственных структур и отраслевых ассоциаций. В церемонии официального открытия выставки приняли участие: депутат Государственной Думы РФ, член Комитета Госдумы по земельным отношениям и строительству **Ширшов Константин Владимирович**; заместитель главы администрации Краснодарского края, министр природных ресурсов и лесного хозяйства Краснодарского края **Лукоянов Вадим Александрович**; министр промышленности и энергетики Краснодарского края **Брижань Виталий Васильевич**; начальник Управления вневедомственной охраны Главного управления МВД России по Краснодарскому краю,

полковник полиции **Эсауленко Александр Владимирович**; заместитель председателя Центрального совета Всероссийского добровольного пожарного общества (ВДПО) **Белоусов Константин Николаевич**; генеральный директор ООО “Газпром трансгаз Краснодар” **Ткаченко Игорь Григорьевич**; генеральный директор ОАО “Газпром добыча Краснодар” **Гейхман Михаил Григорьевич**; генеральный директор компании “Роснефть Краснодарнефтегаз” **Нишкевич Юрий Александрович**; генеральный директор ООО “КраснодарЭКСПО” **Конькова Елена Валентиновна**.

Поприветствовав коллег и гостей мероприятия, начальник краевого управления вневедомственной охраны полковник полиции Александр Эсауленко подчеркнул: *“Международная выставка — это возможность не только демонстрации последних разработок технических средств и достижений в этой области, но и обмена практической информацией по их внедрению. Уверен, что данное мероприятие будет способствовать повышению эффективности системы обеспечения охраны и безопасности населения Краснодарского края”*.

В этом году экспозиция объединила более 200 компаний-участников из 11 стран мира — России, Украины, Белоруссии, Германии, Армении, Швейцарии, Японии, Чехии, Италии, Аргентины, США.





Новинки систем охранного видеонаблюдения, оборудования для противопожарной защиты и телекоммуникационных технологий представили участники разделов SIPS и ICT: Arecont Vision, Viking, Panda, Pixel, БайтЭрг, Плазма-Т, Дорхан, CISA, GEUTEBRUCK, F-Cor, Jablotron, SpezVision, UFLEX Co Ltd HKG, Оптима, Огнеборец, ИСТА-Комплект, ГК "Этернис", Canovate, Банкомсвязь и др. Так, ТД "Амиком" представил оборудование торговой марки "Just" и бренда "ADVERT".

Экспозицию вневедомственной охраны Кубани представили инженеры ФГКУ УВО ГУ МВД России по Краснодарскому краю — капитан полиции Дмитрий Бездольный и старший лейтенант полиции Андрей Аксамитный. Они рассказали и продемонстрировали гостям последние разработки технических средств в сфере охраны.

В рамках SIPS 16 октября Всероссийское добровольное пожарное общество провело конференцию "Пожарная безопасность объектов Южного региона в условиях нового законодательства. Опыт и практические решения". На конференции выступили: министр гражданской обороны, чрезвычайных ситуаций



и региональной безопасности края Б. Т. Глебов, руководитель ГКУ КК "Управление ПБ ЧС и ГО" Б. Ю. Горюнов, заместитель председателя ЦС ВДПО, канд. техн. наук К. Н. Белоусов и другие докладчики.

На одной площадке IDES встретились российские и международные производители, представители бизнеса, инвесторов и государственных структур.

Важность проведения выставки для региона отметил глава муниципального образования г. Краснодара В. Л. Евланов: "Выставка IDES — уникальный отраслевой коммуникационный проект, сумевший охватить основные направления экономики края и города и объединить вокруг себя профессионалов. Без сомнения, проведение подобного мероприятия даст почву для новых замыслов, развития инфраструктуры региона, продемонстрирует современные строительные материалы, оборудование, новые технологии для газовой отрасли и энергетики".





Точный расчет на безопасность!

Шторм-ОН — синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения. Основная область применения: для нужд пожарных бригад в городах, для тушения лесов, деревянных строений, торфяников. Относится к биологически маловредным средствам (БИО). Срок годности пенообразователя до 5 лет, после чего необходимо либо проводить дополнительные исследования, либо использовать его для учений.

Е. В. КРАСНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО “Экохиммаш”
(Россия, 157000, Костромская обл., г. Буй, ул. Чапаева, 1; e-mail: for-k@yandex.ru)

М. Н. ВАЙСМАН, канд. техн. наук, независимый эксперт

А. С. СМЕРНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор ООО “ТЭК Экохиммаш”
(Россия, 157000, Костромская обл., г. Буй, ул. Чапаева, 1)

С. А. СМЕРНОВ, канд. техн. наук, менеджер по продажам ООО “ТЭК Экохиммаш”
(Россия, 157000, Костромская обл., г. Буй, ул. Чапаева, 1)

УДК 614.842.611

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ И ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Рассмотрены нормативные документы России, Европы, Северной Америки на огнетушащие порошки для тушения пожаров классов ABCE, переносные и передвижные огнетушители. Показаны различия в нормативных требованиях и отставание требований к отечественным порошковым огнетушителям по огнетушащей эффективности от европейских аналогов. Представлены предложения по корректировке действующих в России норм с целью их совершенствования.

Ключевые слова: нормативное регулирование; огнетушащие порошки; порошковые огнетушители; модельные очаги пожаров классов А и В; огнетушащая эффективность; ранг модельного очага; технические требования; методы испытаний; влажность древесины; время горения очага; скорость ветра; камера для испытаний; водоотталкивание.

Порошковое пожаротушение является одним из самых распространенных способов локализации возгорания. Это обусловлено преимуществами порошковых огнетушителей по сравнению с другими средствами: универсальностью применения, широким температурным интервалом работы, способностью к тушению приборов под напряжением, низкой токсичностью.

Вместе с тем в последние годы участились претензии к качеству отечественных порошковых огнетушителей, низкий уровень которых, к сожалению, подтвердили и многочисленные огневые испытания. В связи с этим представляло интерес провести сравнительный анализ требований российских ГОСТов [1, 2] и европейских норм [3], на соответствие которым проводится сертификация огнетушителей, являющаяся обязательным условием их обращения на рынке.

Производители порошковых огнетушителей в Европе систематически повышают огнетушащую способность порошковых составов на основе фосфатов аммония, что находит отражение и в нормативах по тушению модельных очагов пожаров классов А и В. Так, был проведен анализ требований по минимальным модельным очагам классов А и В в нормах России и Европы. Сопоставление проводилось между массой огнетушащего вещества (ОТВ) и минимальной площадью горящей поверхности модельного очага, которая должна быть потушена порошком

(табл. 1 и 2). Результаты анализа наглядно показывают отставание требований к отечественным порошковым огнетушителям по огнетушащей способности от европейских аналогов.

По фактическим данным ряд иностранных производителей огнетушащих порошков и огнетушителей заявляют еще более высокую огнетушащую эффективность для своих продуктов. Так, например, огнетушитель немецкого производителя с ОТВ массой 6 кг должен тушить модельный очаг класса А площадью 51 м². В то же время отечественный

Таблица 1. Требования по огнетушащей способности для минимального модельного очага класса А

Масса ОТВ, кг	Площадь очага, м ²	
	по ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	по EN 3-7:2004 [3]
1	2,4*	4,8
2	3,6	7,6
3	4,7	12,2
4	9,4	12,2
6	13,9	19,8
12	18,7	40,2

* Так как размеры, формы и маркировки очагов в разных странах различаются, здесь и далее авторы для сопоставления модельных очагов используют площадь горящей поверхности.

Таблица 2. Требования по огнетушащей способности для минимального модельного очага класса В

Масса ОТВ, кг	Площадь очага, м ²	
	по ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	по EN 3-7:2004 [3]
1	0,4	0,7
2	0,7	1,1
3	1,1	1,7
4	1,7	2,2
6	2,8	3,6
7	3,6	Не регламентируется
8	4,5	То же
9	4,5	4,5
12	5,8	5,8

Таблица 3. Минимальные требования к модельным очагам и огнетушителям для проверки огнетушащих порошков на способность к тушению очагов классов А и В

ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]		EN 615:2009 [5]	
Огнетушитель	Класс очага (площадь, м ²)	Огнетушитель	Класс очага (площадь, м ²)
ОП-3	1А (4,7)	ОП-6	21А (19,8)
		ОП-9	27А (25,3)
ОП-3*	55В (1,7)	ОП-6	113В (3,6)
		ОП-9	144В (4,5)

* Расход порошка на тушение не более 1,7 кг.

рынок не заинтересован в появлении огнетушителей с показателями по огнетушащей способности, превосходящими требования ГОСТов.

В связи с этим необходимо акцентировать внимание на различиях в уровне требований, которые предъявляются к огнетушащим порошкам, применяемым для тушения очагов классов А и В, в России и Европе (табл. 3).

Считаем необходимым заострить внимание на серьезнейшем несоответствии между условиями тестирования огнетушащих порошков и огнетушителей при тушении модельного очага класса А.

Нами были проведены испытания, при которых в качестве ОТВ использовался классический (по мировой практике) огнетушащий порошок класса ВС (карбонатно-хлоридная основа). При профессиональной работе оператора из огнетушителя ОП-3 согласно [4] данным ОТВ был потушен регламентированный модельный очаг 1А (площадью 4,7 м²), т. е. огнетушащий порошок данного типа вследствие низких нормативных требований к условиям испытаний и при относительно большой массе ОТВ формально можно отнести к ОТВ для тушения класса А. При этом на практике при снаряжении им более крупных огнетушителей (ОП-4 и более) он не обес-



Тестирование порошковых огнетушителей ОП-4: на переднем плане разгорается очаг 2А, на заднем — выгорают два очага 55В

печивает тушения на соответствующих модельных очагах класса А (тлеющая древесина).

При этом наиболее распространенной моделью порошкового огнетушителя на рынке РФ является ОП-4. В настоящее время ОП-4 согласно [1] должен проверяться на модельных очагах 2А (площадью 9,4 м²) и 55В (площадью 1,7 м²). Заряженные упомянутым выше порошком огнетушители не могут потушить нормативные минимальные модельные очаги класса 2А, что неоднократно демонстрировалось при огневых испытаниях порошковых огнетушителей (см. рисунок).

Используя это слабое звено в нормативах, ряд производителей огнетушащих порошков поставяет на рынок относительно низкосортный порошок класса ВС (карбонатно-хлоридный) под видом высококачественного порошка класса АВС (фосфатный), чем вводит в заблуждение и производителей огнетушителей, и покупателей.

Для повышения качества российских огнетушащих порошков и, как следствие, огнетушителей предлагаем для проверки огнетушащего порошка на способность к тушению очагов классов А и В использовать огнетушитель ОП-4, как наиболее широко используемый в России, и модельные очаги 3А (площадью 13,9 м²) и 70В (площадью 2,2 м²). Кроме стимулирования роста качества средств первичного пожаротушения, данное решение позволит устранить нормативную лазейку для поставки низкосортных огнетушащих порошков.

При анализе нормативов Европы и Северной Америки выявлено, что развитие зарубежных порошковых составов и огнетушителей напрямую связано с повышением требований, предъявляемых к ним

Таблица 4. Требования по типу древесины и ее влажности для модельного очага пожара класса А

Норматив	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	EN 3-7:2004 [3]	CAN/ULC-S508–02 [6]	ISO 7202:1987 [7]
Вид дерева	Хвойная порода (ГОСТ 8486)	Хвойные породы не ниже 3-го сорта (ГОСТ 8486)	Сосна	Хвойные породы	Виды, подвиды или гибриды сосны, пихты
Влажность, %	10–14	10–20	10–15	9–13	9–13

нормативной документацией, и их детализацией. Одним из важнейших факторов при проведении огневых испытаний порошков по тушению модельных очагов класса А следует признать влажность древесины (табл. 4).

В работах [8, 9] подробно описан механизм горения древесины и различия в этом процессе. Так, справедливо отмечается, что показатель низшей теплоты сгорания является объективной характеристикой горения, в частности, древесины. Для модельных очагов класса А характерна практически неконтролируемая вариабельность в процессе горения. Основной причиной различий в скорости горения казалось бы одинаковых модельных очагов на практике является влажность древесины. Многочисленные опыты показывают, что при одном и том же времени горения (8 мин) модельных очагов класса А с влажностью древесины 9 и 15 % скорость возгорания и мощность горения их существенно различаются.

Для сопоставления различных модельных очагов и снижения вариативности условий проведения огневых экспериментов считаем разумным установить диапазон влажности древесины от 10 до 14 % и обязательность его контроля при подготовке и проведении испытаний с помощью портативных влагомеров.

Не менее важным фактором, влияющим на повторяемость и объективность огневых испытаний, следует признать скорость ветра. Ветровой поток

(скорость, порывистость, смена направления) напрямую влияет на равномерность горения очага класса А и форму пламени при горении очага класса В.

Для модельного очага класса А при скорости ветра более 3 м/с наблюдается неравномерность горения модельного очага и, как следствие, уменьшение площади горящей древесины и снижение ранга очага. В случае горения очага класса В ветер, прижимая пламя к земле, облегчает оператору выполнение задачи по “отрыву” пламени. В каждом из приведенных примеров фактический ранг модельного очага оказывается ниже заявляемого изготовителем. Мы уверены, что для повторяемости условий огневых испытаний крайне важно стабилизировать данный фактор. Решить эту задачу можно двумя способами:

- снижением максимальной скорости ветра (в нормативах) до 3 м/с;
- дополнением нормативных условий проведения испытаний обязательным требованием по наличию испытательной камеры, которую следует сооружать по предложенным в европейских или канадских нормах размерам, но без крыши, что позволит снизить ее высоту до 7 м и исключить тепловое воздействие на конструкции крыши (табл. 6). Воспроизводимость огневых испытаний в подобной камере возрастает на порядок.

Немаловажно и требование зарубежных норм по креплению брусков для модельного очага класса А: бруски достаточно жестко фиксируются, чтобы при

Таблица 5. Требования по допустимой скорости ветра при испытаниях по тушению модельных очагов классов А и В и конструкции очага класса А

Условия испытаний	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	EN 3-7:2004 [3]	CAN/ULC-S508–02 [6]	ISO 7202:1987 [7]
Скорость ветра, м/с:					
в помещении	Не регламентируется	Не более 5	Не более 0,2	Не регламентируется	В испытательной камере без сквозняков (класс А)
на улице	Не более 3	Не более 5	Не более 3	1,4–3,6 с порывами до 4,4	Не менее 1 и не более 3 (класс В)
Соединение деревянных брусков в модельном очаге класса А	Не регламентируется	Допускается скреплять для прочности	Не регламентируется	Бруски, образующие внешние углы штабеля, скрепляются, чтобы обеспечить устойчивость конструкции под напором струи ОТВ из огнетушителя	Не регламентируется

Таблица 6. Рекомендуемые геометрические параметры камеры для огневых испытаний

Параметр камеры	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	ГОСТ Р 51057–2001 [1]	ГОСТ Р 51017–2009 [2]	EN 3-7:2004 [3]	CAN/ULC-S508-02 [6]
Объем, м ³	Не менее 1000	Специальное помещение	Не менее 1600	До 3541*	Не менее 1600**
Высота, м	Не менее 10	Не регламентируется	Не менее 7	До 15	Примерно 7,5**

* Геометрия приводится для каждого размера очага.
 ** Для очагов класса до 10А (площадью 46 м²) и до 20В (площадью 4,65 м²) включительно только в помещении, для очагов начиная с класса 20А и 20В (площадью 7 м²) — вне помещения.

горении очага, ветровой нагрузке или давлении струи огнетушащего порошка не происходило их сдвига относительно друг друга с целью исключения дополнительной площади поверхности горения, как правило, достаточно труднодоступной для тушения. Таким образом, это позволяет сохранить заявленный ранг модельного очага в течение всего эксперимента.

По влиянию на процесс горения временной фактор столь же важен, как и описанная выше влажность материала. Действительно, время горения очага в отечественных нормах описано диапазоном, и зачастую конкретная величина выбирается организаторами по минимуму. Очень интересны в связи с этим рекомендации канадского стандарта. Поскольку процесс горения — это многофакторный процесс, оценивать скорость горения целесообразно через величины тепловых мощностей (проблематичен вопрос с выбором точки контроля) или уменьшение массы горящего очага как обратную зависимость от мощности выделяющегося теплового потока (табл. 7).

Полагаем, что при уменьшении диапазона влажности древесины и снижении нормативной ветровой нагрузки достаточно принять общее время горения очага класса А равным 8 мин (с учетом горения бензина 2 мин). Для исключения прочих факторов (метеословия, химический состав древесины и пр.) и повышения воспроизводимости огневых испытаний имеет смысл исследовать кинетику горения очага через кинетику изменения массы очага и в дальнейшем подготовить доклад по данной тематике с разработкой рекомендаций по изменению отечественных стандартов.

Следует отдельно отметить ряд показателей огнетушащих порошков, регламентируемых нормами. Так, европейские нормы отличаются от отечественных, с одной стороны, более узкими диапазонами характеристик (например, влажности), а с другой — большим объемом информации о порошке и приближением характеристик огнетушащего порошка к рыночным реалиям. Например, в настоящее время

Таблица 7. Оценка скорости горения модельного очага класса А через время горения и уменьшение его массы

Параметр	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	EN 3-7:2004 [3]	CAN/ULC-S508-02 [6]
Время горения, мин	9±1*	9±1	8	
Уменьшение массы очага, % (от первоначальной массы)	—	—	—	До 55±1 (до 10А). До 65±1 (от 20А) или 8,5 мин

* Включая 2 мин горения бензина.

Таблица 8. Параметры огнетушащих порошков

Параметр	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	EN 615:2009 [5]	ISO 7202:1987 [7]
Кажущаяся плотность неуплотненного порошка, кг/м ³	Не менее 700	±70*	±100*
Массовая доля влаги, %, не более	0,35	0,25	Не регламентируется
Способность к водоотталкиванию, мин, не менее	120 (порошки не должны полностью впитывать капли воды). 120±5 (2 капли из 3 скатываются при наклоне стаканчика)	120±5 (капли не должны быть полностью абсорбированы порошком)	Не должно наблюдаться поглощения капель воды. 60 (скатывание капель при наклоне поверхности)
Заявленный химический состав, %**	Более 75	Не менее 90	Более 75

* Допуск к заявленной величине.
 ** Процентное содержание компонентов порошка в суммарном объеме.

огнетушащие порошки общего назначения класса АВСЕ имеют насыпную плотность неуплотненного порошка $(870 \pm 70) \text{ кг/м}^3$. Плотность менее 800 кг/м^3 не устраивает потребителей, так как влечет за собой увеличение затрат на производство огнетушителей. Реалии отечественного рынка таковы, что первичной на рынке порошковых огнетушителей остается себестоимость огнетушителя, а не его эффективность.

Полагаем, что для уменьшения противоречий следует оставить в ГОСТ Р 53280.4–2009 [4] только одно определение, касающееся соответствия огнетушащего порошка по показателю водоотталкива-

ния, а именно: *Порошки не должны полностью впитывать капли воды в течение не менее 120 мин.*

В табл. 9 и 10 представлены сравнительные данные по способам и условиям тушения модельных очагов классов А и В, а также требованиям к количеству экспериментов.

По тушению очага класса А полагаем целесообразным требование о наблюдении за затухшим очагом в течение 3 мин. Исходя из нашего опыта именно такое время показательно при огневых испытаниях.

По тушению очага класса В полагаем существующие нормы справедливыми. По нашему мнению,

Таблица 9. Способы и условия тушения модельного очага класса А

Параметр	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	EN 3-7:2004 [3]	CAN/ULC-S508–02 [6]	ISO 7202:1987 [7]
Ограничения работы оператора	Начальное расстояние до очага 0,5–1,5 м. Кроме одной из боковых сторон поверхности штабеля	Кроме одной из боковых сторон и нижней поверхности штабеля	Без ограничений	Начальное расстояние 1,8 м, затем без ограничений. Струя должна быть непрерывной	Начальное расстояние 1,8 м. Кроме одной из боковых сторон
Условие тушения модельного очага	Отсутствие повторного возгорания в течение 10 мин	Отсутствие возгорания с последующим устойчивым горением штабеля в течение 10 мин наблюдений	Отсутствие новых очагов горения в течение 3 мин наблюдений	Контроль возгорания. Отсутствие повторного возгорания или затухание в течение 15 мин после полного опорожнения огнетушителя	Отсутствие открытого пламени и повторного воспламенения в течение 15 мин
Требуемое количество положительных испытаний	2 из 3	2 из 3	2 из 3 в одной серии	Соответствие классу — 2 из 3. Первая заявка (класса, ранга, огнетушителя) — 3 подряд	2 из 3 в одной серии
Общее количество испытаний	3 параллельных	Не менее 3 [1]; 3 [2]	Серия из 3	Не более 6, без замены оператора или техники	Не регламентируется

Таблица 10. Способы и условия тушения модельного очага класса В

Параметр	ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]	ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]	EN 3-7:2004 [3]	CAN/ULC-S508–02 [6]	ISO 7202:1987 [7]
Обновление топлива	Не регламентируется	После каждого испытания охлаждают противень	В серии из трех испытаний как минимум один раз нужно залить свежее топливо	Не регламентируется	
Вид топлива	Бензин “Нормаль-80” по ГОСТ Р 51105–97* [10]	Бензин по ГОСТ Р 51105 (предпочтительнее бензин с более низким октановым числом)	Промышленный гептан	Технический гептан	Алифатический жидкий углеводород (начальная температура кипения не менее 88°C , конечная — не более 105°C)
Ограничения работы оператора	Начальное расстояние до очага $(2,0 \pm 0,5) \text{ м}$. Расход ОТВ при тушении класса В не более 1 кг/м^2	Запрещается заступать внутрь модельного очага	Без ограничений	Не допускается перегибаться или вытягивать руки через край противня	Начальное расстояние до очага не менее 1,5 м. Не допускается наступать на противень

следует лишь в ГОСТ Р 53280.4–2009 [4] более четко прописать требования к бензину, тем более что регламентируемый в настоящее время бензин “Нормаль-80” купить на заправках практически невозможно. Кроме того, предлагаем исключить из [4] нормативное требование, регламентирующее расход ОТВ на 1 м² поверхности горения при тушении модельного очага класса В.

Отдельно рассматривалось влияние сечения насадка-распылителя на тактику оператора при проведении огневых испытаний. В результате многочисленных натурных экспериментов было выявлено два важных факта.

Во-первых, при проведении огневых испытаний по тушению очага класса А сечение насадка-распылителя напрямую влияет лишь на тактику тушения оператора. Результативность тушения, кроме тактики оператора, во многом определяется экономичностью расхода ОТВ и точностью регулировки этого расхода через запорно-пусковое устройство (ЗПУ). Считаем, что именно площадь сечения насадка-распылителя определяет расход ОТВ, а соответственно, и результативность испытаний.

Во-вторых, при проведении огневых испытаний по тушению очага класса В сечение насадка-распылителя напрямую влияет на форму и концентрацию струи ОТВ. При этом предпочтительнее так называемые “щелевые” насадки-распылители. Эти насадки формируют плоский факел ОТВ, который, с одной стороны, перекрывает по ширине модельный очаг (с круглой насадкой это сделать намного сложнее), а с другой — позволяет оператору эффективно осуществить “отрыв” пламени и тушение очага.

Полагаем данные наблюдения важными при обсуждении требований, предъявляемых нормами к форме и сечению насадка-распылителя порошкового огнетушителя.

На основании результатов анализа были сформулированы предложения по совершенствованию отечественной нормативной документации в области порошкового пожаротушения с целью повышения огнетушащей способности отечественных порошковых огнетушителей:

- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]: для проверки огнетушащего порошка на способность тушения очагов класса А и В использовать ОП-4 и модельные очаги 3А (площадью 13,9 м²) и 70В (площадью 2,2 м²);
- ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: на один шаг повысить ранги минимальных модельных очагов по классам А и В для всех порошковых огнетушителей (например, с 2А до 3А);
- ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: установить диапазон влажности древесины для

огневых испытаний по тушению очага класса А равным 10–14 % и обязательность контроля его при подготовке и проведении испытаний с помощью портативных влагомеров;

- ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: установить максимальную скорость ветра при огневых испытаниях до 3 м/с;
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4], ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: установить обязательное требование для проведения испытаний — наличие испытательной камеры, которая должна сооружаться по предложенным в канадских нормах размерам, но без крыши, что позволит снизить ее высоту до 7 м и исключить тепловое воздействие на конструкции крыши;
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4], ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: установить обязательное требование по скреплению брусков скобами или гвоздями при проведении огневых испытаний по тушению очага класса А;
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4], ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: принять полное время горения очага класса А на огневых испытаниях равным 8 мин (с учетом горения бензина 2 мин);
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4], ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: при огневых испытаниях по тушению очага класса А принять время наблюдения за отсутствием возгорания затушенного очага равным 3 мин;
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]: отменить минимальную насыпную плотность неуплотненного огнетушащего порошка и регламентировать лишь диапазон допуска к заявленной производителем величине (например, ± 70 кг/м³);
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]: определить соответствие огнетушащего порошка по показателю водоталкивания следующим образом: “Порошки не должны полностью впитывать капли воды в течение не менее 120 мин”;
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]: изложить требования к топливу, учитывающие современные реалии;
- ГОСТ Р 53280.4–2009 [4]: исключить нормативное требование, регламентирующее расход ОТВ на 1 м² поверхности горения модельного очага класса В;
- ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: рекомендовать использование насадка-распылителя “щелевого” типа;
- ГОСТ Р 51057–2001 [1], ГОСТ Р 51017–2009 [2]: на основе исследования кинетики горения очага через изменение массы очага регламентировать обязательность контроля за огневыми испытаниями по тушению очага класса А с помощью тензометрической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2002 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002.
2. ГОСТ Р 51017–2009. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартиформ, 2009.
3. EN 3-7:2004+A1:2007. Огнетушители переносные. Ч. 7: Технические характеристики, требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний (германская ред.). — Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2007.
4. ГОСТ Р 53280.4–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Ч. 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. 01.05.2009 г. — М. : Стандартиформ, 2009.
5. EN 615:2009. Противопожарная защита. Средства пожаротушения. Требования к огнетушащим порошкам (за исключением огнетушащих порошков для класса пожаров D) (германская ред.). — Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2009.
6. CAN/ULC-S508–02. Стандарт классификации огнетушителей и испытания их огнетушащей способности // Standards Bulletin 2007–16. — Ontario : ULC, 2007.
7. ISO 7202:1987. Противопожарная защита. Огнетушащие вещества. Порошки. — Введ. 01.06.87 г. URL : <http://www.tnra.by/KartochkaDoc.php?UrIRN=53919> (дата обращения: 20.10.2012 г.).
8. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
9. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение и пожарная опасность древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 19–32.
10. ГОСТ Р 51105–97*. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия. — Введ. 01.01.99 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998.

Материал поступил в редакцию 26 октября 2012 г.

English

ANALYSIS OF THE NORMATIVE REGULATION OF POWDER FORMULATIONS AND FIRE EXTINGUISHERS IN RUSSIA AND ABROAD

KRASNOV Yevgeniy Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, General Director, ZAO Ecochemmash (Ecochemmash, JSC) (Chapayeva St., 1, Kostroma Region, Bui 157000, Russian Federation; e-mail address: for-k@yandex.ru)

VAYSMAN Mikhail Naumovich, Candidate of Technical Sciences, Independent Expert

SMIRNOV Aleksandr Sergeyevich, Candidate of Technical Sciences, General Director, ООО TZK Ecochemmash (Trade and Purchasing Company Ecochemmash, Ltd.) (Chapayeva St., 1, Kostroma Region, Bui 157000, Russian Federation)

SMIRNOV Sergey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Sales Manager, ООО TZK Ecochemmash (Trade and Purchasing Company Ecochemmash, Ltd.) (Chapayeva St., 1, Kostroma Region, Bui 157000, Russian Federation)

ABSTRACT

The article presents a comparative analysis of the requirements of international, European, North American standards and Russian Standards on dry chemical powders and held fire extinguishers.

World manufacturers of powder fire extinguishers systematically increase the fire extinguishing ability of powder compositions on the basis of ammonium phosphates, which is reflected in the regulations for the suppression of model of fire class A and B. The results of the analysis demonstrate lagging behind the requirements of fire extinguishing ability of the domestic powder fire extinguishers from the world analogues. The domestic market is not interested in the appearance of fire extinguishers with indicators on fire extinguishing ability, going beyond the requirements of State Standard.

Using domestic regulatory weakness, a number of manufacturers of fire extinguishing powders delivers on the market of relatively low-quality powder class BC (carbonate or chloride basis) under the guise of high-quality powder-class ABC (phosphate basis) than misleading and manufacturers of fire extinguishers, and buyers.

When analyzing the standards of Europe and North America revealed that the development of foreign powder formulations and fire extinguishers is connected with increase of requirements imposed by the regulatory documents and their detail. The most important factors in carrying out fire tests powders for the suppression of model centers of A class should recognize the humidity of the wood, the time of burning, wind speed and a number of other factors influencing the frequency of occurrence of fire tests of fire extinguishing powders and fire extinguishers.

The authors suggest **raising the requirements** of the Russian State Standard. This will remove the regulatory loopholes for the supply of low quality of fire extinguishing powders. The article contains proposals on the improvement of domestic normative documentation in the field of powder fire extinguishing with the purpose of increase of fire extinguishing ability of the domestic powder fire extinguishers.

Keywords: legal regulation; fire extinguishing powders; powder fire extinguishers; model centers of class A and class B; fire extinguishing efficiency; the rank of the model; technical requirements; test methods; the humidity of the wood; the time of burning fire; wind speed; the camera for testing; water-proof; water resistant.

REFERENCES

1. *GOST R 51057–2001. Tekhnika pozhnarnaya. Ognnetushiteli perenosnyye. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy* [State Standard 51057–2001. Fire fighting equipment. Portable fire extinguishers. General technical requirements. Test methods]. Moscow, IPK Izdatelstvo Standartov Publ., 2002.
2. *GOST R 51017–2009. Tekhnika pozhnarnaya. Ognnetushiteli peredvizhnyye. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy* [State Standard 51017–2009. Fire engineering. Wheeled fire extinguishers. General technical requirements. Test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
3. *Portable fire extinguishers — Part 7: Characteristics, performance requirements and test methods. German Version EN 3-7:2004+A1:2007*. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2007.
4. *GOST R 53280.4–2009. Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskoye. Ognnetushashchiye veshchestva. Ch. 4. Poroshki ognnetushashchiye obshchego naznacheniya. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya i metody ispytaniy* [State Standard 53280.4–2004. Automatic gas fire extinguishing systems. Extinguishing medium. Part 4. Dry fire extinguishing powders. General technical requirements. Test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
5. *Fire protection — Fire extinguishing media — Specifications for powders (other than class D powders). German version EN 615:2009*. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2009.
6. *Standard for the rating and fire testing of fire extinguishers CAN/ULC-S508–02*. Ontario, ULC, 2009.
7. *ISO 7202:1987. Fire protection — Fire extinguishing media — Powder*. Available at: <http://www.tnpa.by/KartochkaDoc.php?UrlRN=53919> (Accessed 20 October 2012).
8. Aseyeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Wood combustion and its fire-dangerous properties]. Moscow, Akademiya GPS MChS Rossii Publ. [State Fire Academy of Emercom of Russia Publ.], 2010. — 262 p.
9. Aseyeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye i pozhnarnaya opasnost drevesiny* [Combustion and Fire Safety of Wooden Materials]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 19–32.
10. *GOST R 51105–97*. Topliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya. Neetilirovanny benzol. Tekhnicheskiye usloviya* [State Standard 51105–97*. Gasolines for combustion engines. Unleaded gasoline. Specifications]. Moscow, IPK Izdatelstvo Standartov Publ., 1998.

Г. Г. АНДРЕЕВ, д-р техн. наук, профессор кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов Физико-технического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

А. В. ЗАХАРЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук, инженер лаборатории моделирования процессов тепломассопереноса, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; e-mail: bet@tpu.ru)

В. Ф. ПАНИН, д-р техн. наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.468

ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВОЗГОРАНИЯ ТКАНИ, ПРОПИТАННОЙ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТЬЮ, ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРЕВЕ

Представлены результаты численного и экспериментального исследований макроскопических закономерностей зажигания паров горючей жидкости, поступающих с пропитанной ею ткани в среду окислителя, при локальном нагреве — взаимодействии с типичным источником ограниченной энергоемкости. Установлены предельные условия зажигания гетерогенной структуры *ткань — жидкость* при нагревании ее одиночной металлической частицей малых размеров. Определены характерные времена задержки зажигания и зависимости интегральных характеристик зажигания от основных параметров локального источника энергии — температуры и размеров разогретой до высоких температур частицы. Проведено сопоставление численных и экспериментальных результатов исследований.

Ключевые слова: зажигание; пары горючего; ткань; локальный нагрев; одиночная частица; время задержки зажигания.

Введение

Выполненный в последние годы цикл численных [1–5] и экспериментальных [6–9] исследований пожароопасных процессов зажигания типичных горючих и легковоспламеняющихся жидкостей широко распространенными источниками ограниченной энергоемкости (металлические и неметаллические частицы, проволоочки, стержни и т. п.) позволил установить предельные условия зажигания конденсированных веществ при локальном нагреве для ряда областей (специальная техника, пожаровзрывоопасность веществ и материалов, химические производства и др.). В [10, 11] приведены результаты численных исследований процессов зажигания такими же источниками нагрева сложных систем с гетерогенными структурами — тканей, пропитанных горючими жидкостями. При этом выбирались ткани, характерные толщины которых существенно больше

размеров источников нагрева. Следует отметить, что установленные интегральные характеристики зажигания (в частности, времена задержки зажигания t_d) являются верхними оценками [10, 11]. На практике чаще возможна реализация условий, при которых локальные источники нагрева (разогретые частицы, проволоочки, стержни, стружки и т. д.) имеют характерные размеры, сопоставимые с толщинами (или даже превышающие их) пропитанных горючими жидкостями тканей. Представляет интерес теоретический и экспериментальный анализ условий зажигания таких структур и сопоставление с результатами ранее выполненных исследований [10, 11].

Цель работы — численное и экспериментальное исследование предельных условий возгорания паров жидкого горючего вещества, поступающих с поверхности пропитанной им ткани (толщиной, сопоставимой с размерами источника энергии), при локальном нагреве.

Постановка задачи

Постановка задачи аналогична указанным в [10, 11]. Рассматривалась система *одиночная, нагретая до высоких температур металлическая частица – ткань, пропитанная горючей жидкостью – парогазовая смесь* (рис. 1). В отличие от постановок, приведенных в [10, 11], характерные размеры частицы сопоставимы с толщиной ткани. Принималось, что в начальный момент времени в ткани содержится жидкое горючее вещество, объемная доля ϕ которого известна. При попадании на поверхность ткани нагретой до высоких температур частицы компоненты горючей жидкости начинают интенсивно испаряться. Образующиеся при этом пары горючего перемешиваются с окислителем — воздухом и нагреваются за счет энергии разогретой частицы. При достижении предельных температур парогазовой смеси и концентраций в ней горючего происходит ее воспламенение.

Аналогично задачам [10, 11] исследования выполнены для типичных пожароопасных жидкостей (бензин, керосин, дизельное топливо) и широко распространенных тканей (шерсть, шелк, лен). В отличие от [10, 11] в качестве источника нагрева выбрана стальная частица в форме цилиндрического диска малых размеров R_p и Z_p . При этом характерные размеры области решения задачи зажигания R_L и Z_L принимались значительно больше R_p и Z_p .

Численное моделирование выполнено аналогично [10, 11] при следующих допущениях:

- 1) в результате испарения горючей жидкости образуется одно вещество с известными характеристиками;
- 2) теплофизические характеристики материала частицы, ткани, жидкости и воздуха не зависят от температуры;
- 3) не учитывается возможная неидеальность теплового контакта на границе *частица – ткань* (деформация соприкасающихся поверхностей ткани и частицы).

В качестве условий воспламенения аналогично [10, 11] приняты следующие [12]:

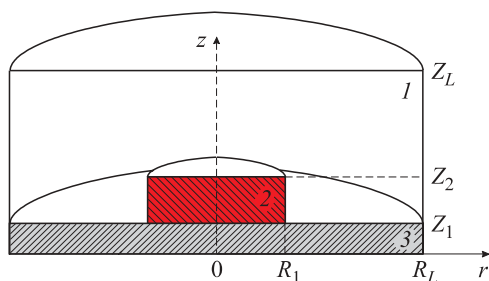


Рис. 1. Схема области решения задачи при $0 < t < t_d$: 1 — парогазовая смесь; 2 — металлическая частица; 3 — ткань, пропитанная горючей жидкостью

- тепло, выделяемое в результате химической реакции паров горючего с окислителем, больше тепла, передаваемого от частицы системе *жидкость – ткань* и в среду окислителя;
- температура парогазовой смеси превышает начальную температуру частицы.

Математическая модель и метод решения

Математическая модель включает уравнения движения, неразрывности, энергии, диффузии и баланса для парогазовой смеси с учетом реакции окисления и теплопроводности для частицы с учетом выделения тепла в результате кристаллизации и теплопроводности для ткани, пропитанной жидким горючим веществом ($0 < t < t_d$) [12–16]:

- $Z_1 < z < Z_2$, $R_1 < r < R_L$; $Z_2 < z < Z_L$, $0 < r < R_L$:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial r} + w \frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\omega u}{r} = v_1 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} - \frac{\omega}{r^2} \right) + g\beta \frac{\partial T_1}{\partial r}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -r\omega; \quad (2)$$

$$\rho_1 C_1 \left[\frac{\partial T_1}{\partial t} + u \frac{\partial T_1}{\partial r} + w \frac{\partial T_1}{\partial z} \right] = \lambda_1 \left[\frac{\partial T_1^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial T_1^2}{\partial z^2} \right] + Q_o W_o; \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} + u \frac{\partial C_f}{\partial r} + w \frac{\partial C_f}{\partial z} = D_4 \left[\frac{\partial C_f^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_f}{\partial r} + \frac{\partial C_f^2}{\partial z^2} \right]; \quad (4)$$

$$C_f + C_o = 1; \quad (5)$$

- $Z_1 < z < Z_2$, $0 < r < R_1$:

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \left[\frac{\partial T_2^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial T_2^2}{\partial z^2} \right] + \frac{Q_c W_c}{Z_p \rho_2 C_2}; \quad (6)$$

- $0 < z < Z_1$, $0 < r < R_L$:

$$\frac{\partial T_3}{\partial t} = a_3 \left[\frac{\partial T_3^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial T_3^2}{\partial z^2} \right]. \quad (7)$$

Здесь t — время, с; r, z — координаты цилиндрической системы координат; ω — вектор вихря скорости, с^{-1} ; u, w — составляющие скорости конвекции смеси паров горючего и окислителя в проекции на оси r и z соответственно, м/с; v — кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$; g — ускорение свободного падения в проекции на ось z , $\text{м}/\text{с}^2$; β — коэффициент термического расширения, К^{-1} ; T — температура, К; ψ — функция тока, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; C — удель-

ная теплоемкость, Дж/(кг·К); λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); Q_o — тепловой эффект реакции окисления паров горючего в воздухе, МДж/кг; W_o — массовая скорость окисления паров горючего в воздухе, кг/(м³·с); C_f — массовая концентрация паров жидкого горючего вещества ($0 < C_f < 1$); D — коэффициент диффузии, м²/с; C_o — массовая концентрация окислителя; a — коэффициент температуропроводности, м²/с; Q_c — тепловой эффект кристаллизации частицы, кДж/кг; W_c — массовая скорость кристаллизации частицы, кг/(м²·с); индексы “1”, “2”, “3”, “4” соответствуют парогазовой смеси, частице, системе *жидкость — ткань*, парам горючего.

Начальные условия ($t = 0$):

$$T_3 = T_0 \text{ при } 0 < z < Z_1, 0 < r < R_L;$$

$$T_2 = T_p \text{ при } Z_1 < z < Z_2, 0 < r < R_1;$$

$$T_1 = T_0, C_f = 0, \psi = 0, \omega = 0 \text{ при } Z_1 < z < Z_2,$$

$$R_1 < r < R_L; Z_2 < z < Z_L, 0 < r < R_L,$$

где T_0 — начальная температура воздуха, ткани и жидкости, К;

T_p — начальная температура частицы, К.

Граничные условия при $0 < t < t_d$ задавались следующие:

- на границе *частица — парогазовая смесь* ($z = Z_2, 0 < r < R_1; r = R_1, Z_1 < z < Z_2$): для уравнений энергии и теплопроводности — граничные условия IV рода; для уравнений диффузии, движения, неразрывности — условие равенства нулю градиентов соответствующих функций;
- на границе *парогазовая смесь — ткань* ($z = Z_1, R_1 < r < R_L$): для уравнения энергии — граничные условия IV рода с учетом испарения компонентов жидкости с поверхности ткани; для уравнений диффузии, движения, неразрывности — граничные условия II рода;
- на границе *частица — ткань* ($z = Z_1, 0 < r < R_1$): для уравнений теплопроводности — граничные условия IV рода;
- на оси симметрии и внешних границах ($z = 0, z = Z_L, 0 < r < R_L; r = R_L, 0 < z < Z_L$): для всех уравнений — условие равенства нулю градиентов соответствующих функций.

Методы решения системы нестационарных дифференциальных уравнений (1)–(7) с соответствующими начальными и граничными условиями аналогичны описанным в [10, 11].

Методика оценки достоверности результатов выполненных теоретических исследований, основанная на проверке консервативности применяемой разностной схемы, аналогична используемому в [1–5].

Методика проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводили на установке (рис. 2) и по методикам, описанным в [6–9].

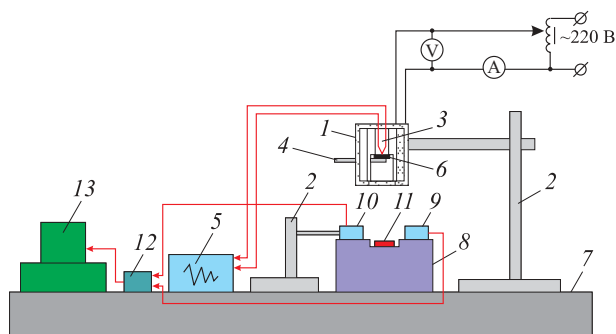


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — нагревательный прибор; 2 — штатив; 3 — хромель-алюмелевая термопара; 4 — керамический стержень; 5 — устройство для измерения и контроля температуры УКТ-Щ4-ТП; 6 — металлическая частица; 7 — рабочая поверхность экспериментальной установки; 8 — огнестойкая площадка; 9 — приемник излучения и регистратор пламени; 10 — излучатель; 11 — образец ткани, пропитанной горючей жидкостью; 12 — аналого-цифровой преобразователь; 13 — персональный компьютер

В качестве источника зажигания использовался металлический диск фиксированных размеров: радиусом $R_p = (3 \div 5) \cdot 10^{-3}$ м; высотой $Z_p = (3 \div 5) \cdot 10^{-3}$ м. Размеры Z_p и R_p диска выбирались таким образом, чтобы обеспечивался хороший контакт его с поверхностью ткани. Экспериментально установлено, что положение слишком маленьких (и, соответственно, легких) частиц ($R_p = Z_p < 2 \cdot 10^{-3}$ м) в момент контакта с тканью не было устойчивым.

Металлическая частица при падении на поверхность ткани находилась в твердом состоянии и не деформировалась, так как ее скорость в момент удара о поверхность экспериментального образца не превышала 1,5 м/с. Форма образца ткани после осаждения на его поверхность “горячей” частицы также не менялась. Эксперименты проводились в хорошо воспроизводимых условиях.

Нагрев металлического диска до заданной температуры осуществлялся в нагревательной печи [6–9], обеспечивающей стабильную температуру рабочего объема (до 1473 К) в течение длительного времени.

Аналогично [6–9] с помощью видеосъемки контролировалось время с момента соприкосновения частицы с тканью до зажигания последней.

Систематическая погрешность измерения температуры источника нагрева, оцениваемая по методике [17], не превышала 1–2 %. Установлено, что за время падения температура поверхности контакта частицы с тканью снижается не более чем на 3–4 К. Таким образом, погрешность определения температуры равна $\pm 0,5$ %. Этим отклонением при анализе можно пренебречь, так как в экспериментах температура частицы превышала 900 К. Систематическая погрешность измерения времени составляла $\pm 0,005$ % и определялась возможностями ЭВМ.

Случайная ошибка определения времени задержки зажигания вычислялась по результатам экспериментов. При фиксированном значении T_p для каждого размера частиц проводилось 6–8 опытов, после чего определялись средние для каждого значения T_p времена задержки зажигания t_d и среднеквадратические отклонения σ по методике [18]. Значения σ для исследуемых тканей различались и составляли от $\pm 0,01$ до $\pm 0,17$ с. Соответствующие коэффициенты вариации изменялись от $\pm 4,5$ до ± 15 %. Полученные среднеквадратические отклонения и коэффициенты вариации можно считать приемлемыми для проведенных экспериментов в связи со сложностью механизма реализации изучаемого процесса.

Визуальные наблюдения за процессом зажигания исследуемых гетерогенных структур были недостаточны для адекватного описания деталей и условий механизма зажигания. Поэтому использовалась видеосъемка [6–9] с частотой 50 кадров в секунду, которая обеспечивала возможность детализации исследуемых механизмов и выделения достаточно тонких эффектов при многократном анализе видеок кадров.

Результаты и обсуждение

Для численных исследований принимались следующие значения параметров [19–22]:

- термохимические характеристики реакций окисления: паров бензина — $Q_o = 45$ МДж/кг, $E = 130$ кДж/моль, $k_0 = 7 \cdot 10^6$ с⁻¹; керосина — $Q_o = 43,8$ МДж/кг, $E = 190$ кДж/моль, $k_0 = 7 \cdot 10^7$ с⁻¹; дизельного топлива — $Q_o = 42$ МДж/кг, $E = 250$ кДж/моль, $k_0 = 9 \cdot 10^8$ с⁻¹; размеры частицы — $R_p = Z_p = (3 \div 5) \cdot 10^{-3}$ м, ткани — $Z_1 = 4 \cdot 10^{-3}$ м и области решения — $R_L = 20 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_L = 10 \cdot 10^{-3}$ м; начальные температуры частицы — $T_p = 1000 \div 1500$ К, ткани и окислителя — $T_0 = 300$ К;
- теплофизические характеристики жидких горючих веществ (керосин, бензин, дизельное топливо), тканей (шерсть, шелк, лен), окислителя (воздух) и стальной частицы — согласно [19–22].

Выполненные ранее численные исследования [10, 11] позволили определить группу факторов и процессов, оказывающих доминирующее влияние на необходимые и достаточные условия реализации зажигания в системе *локальный источник нагрева — ткань, пропитанная жидким горючим веществом — окислитель*. Так, например, установлено [10, 11], что основными параметрами являются температура источника зажигания T_p и объемная доля паров горючей жидкости в ткани ϕ . В связи с этим представляет интерес оценка влияния на интегральные характеристики зажигания именно этих параметров.

На рис. 3 и 4 приведены кадры видеogramм, полученных при реализации условий зажигания и от-

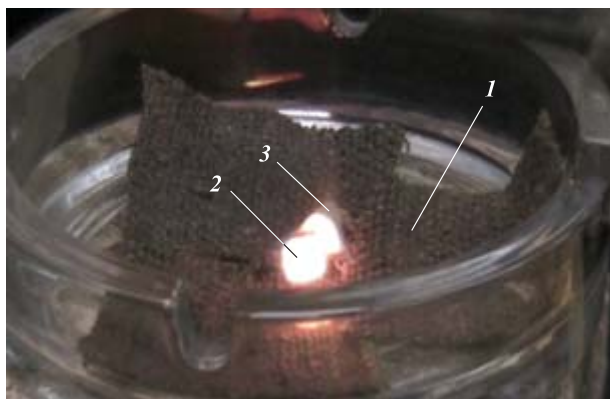


Рис. 3. Кадр видеogramмы эксперимента с воспламенением паров керосина, поступающих с поверхности гетерогенной структуры — шерстяной ткани, пропитанной горючей жидкостью ($T_p = 1250$ К, $R_p = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м): 1 — ткань; 2 — стальная частица; 3 — пламя

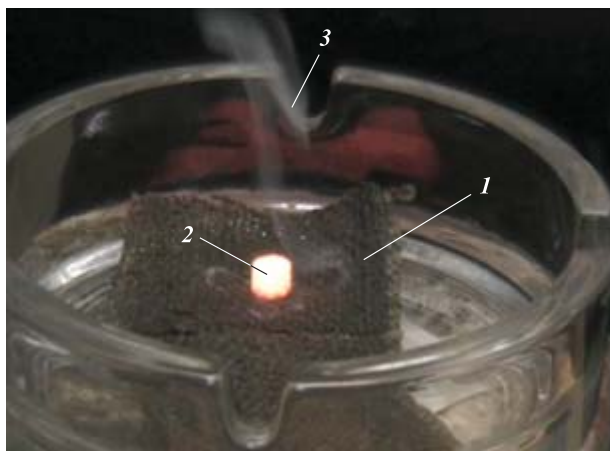


Рис. 4. Кадр видеogramмы эксперимента без воспламенения паров керосина, поступающих с поверхности гетерогенной структуры — шерстяной ткани, пропитанной горючей жидкостью ($T_p = 1000$ К, $R_p = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м): 1 — ткань; 2 — стальная частица; 3 — дымообразование без пламени

сутствию возгорания соответственно. При температуре частицы менее 1000 К зажигания не происходило. На рис. 4 видно интенсивное парообразование без ускорения реакции окисления и последующего появления пламени. Серия экспериментов показала, что при $T_p > 1000$ К зажигание происходит стабильно (см. рис. 3). Таким образом, при размерах стальной частицы $R_p = 3 \cdot 10^{-3}$ м и $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м предельное (нижнее) значение ее температуры, при которой происходит зажигание, составляет $T_p = 1000$ К. При увеличении R_p и Z_p предельное значение T_p несколько снижается, но не достигает 950 К ни при каких условиях.

Объемная доля паров горючей жидкости в ткани ϕ при проведении серии экспериментов определялась взвешиванием образцов до и после пропитки. Установлено, что стабильное зажигание происходит при высокопористой структуре ткани (до 30–40 %

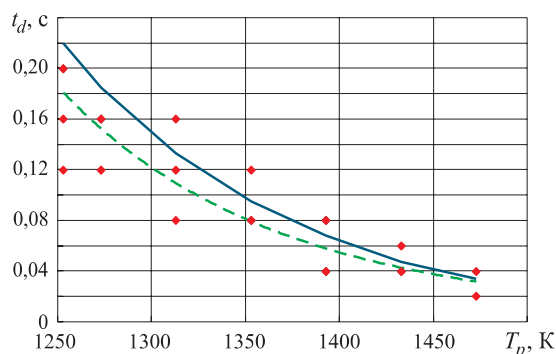


Рис. 5. Зависимость времени задержки зажигания от температуры источника нагрева: — теоретические значения; ♦ — экспериментальные значения; — аппроксимационная кривая для экспериментальных значений

массы гетерогенной структуры составляет горючая жидкость). Поэтому можно заключить, что вне зависимости от температуры локального источника нагрева для реализации зажигания необходимо выполнение условия $\varphi > 30\%$.

На рис. 5 приведена установленная с использованием модели (1)–(7) зависимость времени задержки зажигания исследуемых веществ от температуры металлической частицы размерами $R_p = 3 \cdot 10^{-3}$ м и $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Показаны также экспериментальные точки и полученная с использованием метода наименьших квадратов аппроксимационная кривая. Из рис. 5 видно достаточно хорошее соответствие результатов численных и экспериментальных исследований: отклонения экспериментальных значений t_d (по аппроксимационной кривой) от численных не превышают 18 %, а с ростом температуры T_p они уменьшаются до 11 % (при $T_p = 1450$ К). Эту особенность можно объяснить тем, что при моделировании использовались известные значения кинетических параметров реакций окисления (предэкспонента k_0 и энергия активации E) [22]. Для приближения теоретических моделей к практике целесообразно согласно [23, 24] учитывать зависимость k_0 и E от температуры. В [23, 24] показано, что эта особенность очень важна при локальном нагреве конденсированных веществ источниками нагрева ограниченного теплосодержания. Следует подчеркнуть, что такие задачи достаточно сложны и требуют отдельного рассмотрения, поэтому не рассматриваются в настоящей работе.

В то же время можно отметить, что на сходимость численных и экспериментальных значений t_d (см. рис. 5) существенное влияние оказывают и теплофизические характеристики исследуемых веществ (особенно горючих жидкостей). Так, в серии экспериментов было установлено, что составы исследуемых горючих жидкостей в некоторых случаях существенно различались как вследствие разных сроков хранения, так и из-за специфических осо-

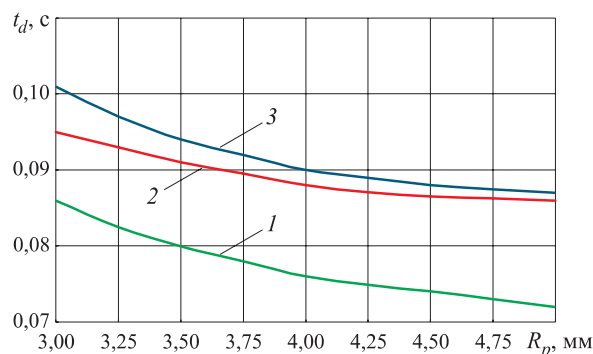


Рис. 6. Зависимости времени задержки зажигания тканей, пропитанных различными горючими жидкостями, от характерного размера источника нагрева R_p при $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $T_p = 1350$ К: 1 — бензин; 2 — керосин; 3 — дизельное топливо

бенностей заводов-производителей. Поэтому при наличии указанных выше и ряда других, не учитываемых пока факторов установленную корреляцию результатов численных и экспериментальных исследований можно считать удовлетворительной.

Сравнительный анализ зависимостей $t_d = f(T_p)$, приведенных на рис. 5, и результатов [10, 11] позволяет сделать вывод о том, что для тканей малой толщины Z_1 (см. рис. 1) времена задержки зажигания в несколько раз меньше указанных в [10, 11]. Это можно объяснить интенсификацией процессов прогрева ткани в экспериментах и, как следствие, повышением массовой скорости испарения в окрестности источника нагрева (наблюдается рост массы вдуваемых паров). За счет снижения расхода энергии источника на прогрев гетерогенной структуры создаются условия для увеличения расхода аккумулированной энергии на разогрев смешивающихся с окислителем паров горючего. Это, в свою очередь, приводит к сокращению времени прогрева смеси и ускорению реакции окисления.

На рис. 6 приведены зависимости времени задержки зажигания паров трех типичных горючих жидкостей (бензина, керосина, дизельного топлива) в рассматриваемой системе (см. рис. 1) от размеров стальной частицы ($t_d = f(R_p)$ при $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м) при $T_p = 1350$ К. Из рис. 6 видно, что радиус диска R_p менее масштабно влияет на интегральные характеристики зажигания по сравнению с температурой частицы T_p . Это можно объяснить тем, что даже относительно малой площади контакта частицы с пропитанной тканью достаточно для интенсификации фазового перехода и ускорения реакции окисления (при $T_p > 1000$ К). Зависимости скоростей испарения W_e [17] и окисления W_o [16] от температуры в зоне реакции носят нелинейный характер, поэтому даже небольшое изменение T_p (± 10 К) существенно влияет на параметр t_d .

Для зависимостей, приведенных на рис. 5 и 6, получена следующая группа аппроксимационных выражений для горючих жидкостей:

- бензин:
при $1250 < T_p < 1500$ К, $R_p = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м:
$$t_d = 7,271 - 0,009T_p + 3 \cdot 10^{-6} T_p^2;$$

при $3 \cdot 10^{-3} < R_p < 5 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $T_p = 1350$ К:
$$t_d = 0,147 - 0,029R_p + 2,8 \cdot 10^{-3} R_p^2;$$
- керосин:
при $3 \cdot 10^{-3} < R_p < 5 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $T_p = 1350$ К:
$$t_d = 0,145 - 0,024R_p + 2,4 \cdot 10^{-3} R_p^2;$$
- дизельное топливо:
при $3 \cdot 10^{-3} < R_p < 5 \cdot 10^{-3}$ м, $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $T_p = 1350$ К:
$$t_d = 0,178 - 0,037R_p + 3,9 \cdot 10^{-3} R_p^2.$$

Следует отметить, что модель (1)–(7) позволяет получить большую группу аппроксимационных выражений при варьировании основных параметров процесса в достаточно широких диапазонах ($3 \cdot 10^{-3} < R_p < 5 \cdot 10^{-3}$ м, $1250 < T_p < 1500$ К). Сформулировать аппроксимационные выражения, учитывающие зависимость времени задержки зажигания от температуры и размеров источника, а также удовлетворительно согласующиеся с экспериментальными и численными результатами, не представляется возможным. Это обусловлено тем, что чем больше параметров или факторов учитывается при записи аппроксимационных выражений, тем больше погрешность аппроксимации (точность неизбежно падает).

Установленные отличия времен задержки зажигания тканей, пропитанных типичными жидкими топливами (бензин, керосин, дизельное топливо), хорошо согласуются с результатами выполненных ранее экспериментальных исследований [6–8]. В частности, времена t_d для систем с парами бензина минимальны, с парами дизельного топлива — максимальны, а с парами керосина — имеют некоторые промежуточные значения. Это обусловлено закономерностями испарения (температуры фазового пе-

рехода, кинетика, химический состав и т. д.) рассматриваемых топлив [6–8]. Так, установлено, что при экспериментах с тканями, пропитанными бензином, формирование условий (по концентрации C_f), достаточных для зажигания (в малой окрестности ткани), происходит еще до падения частицы на поверхность гетерогенной структуры. Контакт частицы с тканью приводит к повышению температуры в зоне реакции и ее последующему ускорению. Для тканей, пропитанных керосином и дизельным топливом, устойчивое зажигание происходит только при относительно продолжительном контакте с разогретой частицей (необходимые условия по C_f и T_p достигаются за большие времена t_d). В то же время серия экспериментов показала, что, несмотря на отличие интегральных характеристик рассматриваемых процессов, для всех видов горючих жидкостей зажигание происходило стабильно.

Заключение

В результате численных и экспериментальных исследований установлены необходимые и достаточные условия возгорания сложных гетерогенных структур — широко распространенных тканей, пропитанных типичными горючими жидкостями, при локальном нагреве. При этом показано, что времена задержки зажигания для большей части практических приложений (с тонкими высокопористыми тканями) могут быть существенно меньше приведенных в [10, 11].

Проиллюстрировано достаточно хорошее соответствие результатов численных и экспериментальных исследований. Определены факторы, оказывающие доминирующее влияние на это соответствие. Получено также хорошее согласование результатов выполненных исследований с закономерностями, описанными в [6–8] для гомогенных структур — жидких топлив.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт 2.80.2012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной “горячей” частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 13–20.
2. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности зажигания парогазовой смеси нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 25–33.
3. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single “hot” particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2008. — Vol. 18, No. 3. — P. 244–252.
4. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание парогазовой смеси движущимся источником нагрева малых размеров // Химическая физика. — 2010. — Т. 29, № 2. — С. 29–37.
5. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Анализ возможных причин макроскопических различий характеристик зажигания жидкого топлива локальным источником энергии и массивным нагретым телом // Химическая физика. — 2012. — Т. 31, № 7. — С. 41–55.

6. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
7. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. О механизме зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
8. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И., Панин В. Ф., Равдин Д. С. Оценка пожарной опасности мазута в условиях перегрузки, хранения и транспорта на тепловых электрических станциях // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 312, № 3. — С. 30–33.
9. Захаревич А. В., Стрижак П. А. Пожарная опасность взаимодействия источников ограниченного теплосодержания с легковоспламеняющимися жидкостями // Пожарная безопасность. — 2011. — № 4. — С. 70–75.
10. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Пожароопасность процессов взаимодействия разогретых до высоких температур частиц с тканями, пропитанными горючими жидкостями // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 16–22.
11. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer in hot-particle-induced ignition of a liquid-fuel vapor entering the ambient air from the surface of a fabric impregnated with the fuel // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2009. — Vol. 82, No. 3. — P. 448–453.
12. Виллюнов В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ. — Новосибирск : Наука, 1984. — 190 с.
13. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
14. Роуч П. Дж. Вычислительная гидродинамика. — М. : Мир, 1980. — 616 с.
15. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. — М. : Наука, 1984. — 277 с.
16. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 490 с.
17. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.
18. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений / Академия наук СССР. — Изд. 3-е, испр. и доп. — Л. : Наука, 1968. — 96 с.
19. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
20. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
21. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 2. — 896 с.
22. Щетинков Е. С. Физика горения газов. — М. : Наука, 1965. — 739 с.
23. Dagaut P., Cathonnet M. The ignition, oxidation and combustion of kerosene: A review of experimental and kinetic modeling // Progress in Energy and Combustion Science. — 2006. — Vol. 32. — P. 48–92.
24. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Определение кинетики зажигания типичных жидких топлив источниками нагрева с конечным запасом энергии // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 7. — С. 35–40.

Материал поступил в редакцию 4 октября 2012 г.

English

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LIMITED CONDITIONS FOR IGNITION OF COMBUSTIBLE LIQUID VAPORS FROM IMPREGNATED CLOTH AT LOCAL HEATING

ANDREEV Genrikh Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Chemical Technology of Rare, Absent-Minded and Radioactive Elements Department, Physical and Technical Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk 634050, Russian Federation)

ZAKHAREVICH Arkadiy Vladimirovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Engineer of Laboratory Simulation for Heat and Mass Transfer, Associate Professor of Theoretical and Industrial Thermal Physics Department, Power Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk 634050, Russian Federation; e-mail address: bet@tpu.ru)

PANIN Vladimir Filippovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Ecology and Safety Department, Institute of Nondestructive Testing of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk 634050, Russian Federation)

STRIZHAK Pavel Aleksandrovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Automation Thermal and Power Processes Department, Power Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk 634050, Russian Federation; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

ABSTRACT

The results of numerical and experimental investigations of ignition for vapors of liquid combustible material coming from the surface of the impregnated fabric to them (with a thickness comparable to the size of the power source), at local heating.

It was assumed that the initial time is known the volume fraction of the liquid fuel substance contained in the cloth. In contact with the heated surface of the cloth particles liquid evaporates, vapors of fuel and oxidizer are mixed, heated and ignite.

The mathematical model includes the equations of motion, continuity, energy, diffusion, and the balance for the gas-vapor mixture with the oxidation reaction, the heat conductivity of a particle with the heat as a result of crystallization, the heat conductivity for fabric impregnated with liquid combustible.

During the experimental research as a source of heating used a metal disc, which is heated to a temperature of 1473 K. The experiments were carried out for a typical fire-liquid — gasoline.

Experimentally established that the size of the ignition source $R_p = 3 \cdot 10^{-3}$ m and $Z_p = 5 \cdot 10^{-3}$ m minimum temperature steel particles at which the ignition is $T_p = 1000$ K. With an increase in R_p and Z_p limit T_p decreases slightly, but not to reach 950 in any circumstances. Also found that, regardless of the temperature of the heat source for the local implementation of ignition must be the necessary condition of flammable liquid in the cloths $\varphi > 30$ %.

Approximation dependences of ignition time delay for the system from the initial temperature of the heated metal particle and its size are received on the basis of results numerical investigations.

In addition, illustrates a fairly good agreement between the results performed numerical and experimental investigations. A good agreement between the results of the research with similar results for homogeneous structures — liquid fuels received.

Keywords: ignition, combustible vapors, cloth, local heating, single particle, ignition time delay.

REFERENCES

1. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vosplamneniye pozharoopasnoy zhidkosti odinochnoy “goryachey” chastitsey [Ignition of fire-dangerous liquid by the single “hot” particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 6, pp. 13–20.
2. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Osobennosti zazhiganiya parogazovoy smesi nagretoy do vysokikh temperatur metallicheskoj chastitsey [Peculiarities of ignition of gas-vapor mixture by the heated till high temperatures metallic particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 25–33.
3. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single “hot” particle. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2008, vol. 18, no. 3, pp. 244–254.
4. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Ignition of a vapor gas mixture by a moving small size source. *Russian Journal of Physical Chemistry B.*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 93–100 (in Russian).
5. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Analysis of possible reasons for macroscopic differences in the characteristics of the ignition of a model liquid fuel by a local heat source and a massive heated body. *Russian Journal of Physical Chemistry B.*, 2012, vol. 31, no. 7, pp. 41–55 (in Russian).
6. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye dizelnogo topliva odinochnoy “goryachey” metallicheskoj chastitsey [Ignition of diesel fuel by single “hot” metal particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 28–30.
7. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. O mekhanizme zazhiganiya benzina odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur metallicheskoj chastitsey [About mechanism of gasoline ignition by single heated till high temperatures metal particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 39–42.

8. Zakharevich A. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., Panin V. F., Ravdin D. S. Otsenka pozharnoy opasnosti mazuta v usloviyakh peregruzki, khraneniya i transporta na teplovykh elektricheskikh stantsiyakh [Estimation of fire dangerous for fuel oil at the transfer, storage and transport on the heat power station]. *Izvestiya Tomskogo polytechnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 312, no. 3, pp. 30–33.
9. Zakharevich A. V., Strizhak P. A. Pozharnaya opasnost vzaimodeystviya istochnikov ogranichenogo teplosoderzhaniya s legkovosplamenyayushchimisya zhidkostyami [Fire dangerous of interaction for limited heat content source with combustible liquids]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2011, no. 4, pp. 70–75.
10. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Pozharoopasnost protsessov vzaimodeystviya razogretykh do vysokikh temperatur chastits s tkanyami, propitannymi goryuchimi zhidkostyami [Fire risk of the interaction processes of particles heating till high temperatures with clothes impregnated by combustible liquids]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 16–22.
11. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer in hot-particle-induced ignition of a liquid-fuel vapor entering the ambient air from the surface of a fabric impregnated with the fuel. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2009, vol. 82, no. 3, pp. 448–453.
12. Vilyunov V. N. *Teoriya zazhiganiya kondensirovannykh veshchestv* [Ignition theory condensed substances]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 190 p.
13. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Foundations of the theory of heat transfer]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p.
14. Rouch P. J. *Vychislitel'naya gidrodinamika* [Computational hydrodynamics]. Moscow, Mir Publ., 1980. 616 p.
15. Paskonov V. M., Polezhayev V. I., Chudov L. A. *Chislennoye modelirovaniye protsessov teplo- i massoobmena* [Numerical modeling of heat and mass transfer]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 277 p.
16. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 490 p.
17. Polezhayev Yu. V., Yurevich F. B. *Teplovaya zashchita* [Thermal protection]. Moscow, Energiya Publ., 1976. 391 p.
18. Zaydel A. N. *Elementarnyye otsenki oshibok izmereniy* [Elementary estimates of the measurement errors]. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 96 p.
19. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Ltd., 2006. 720 p.
20. Yurenev V. N., Lebedev P. D., eds. *Teplotekhnicheskyy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 1, 743 p.
21. Yurenev V. N., Lebedev P. D., eds. *Teplotekhnicheskyy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 2, 896 p.
22. Shchetnikov Ye. S. *Fizika gorennya gazov* [Physics of combustion gases]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 739 p.
23. Dagaut P., Cathonnet M. The ignition, oxidation and combustion of kerosene: A review of experimental and kinetic modeling. *Progress in energy and combustion science*, 2006, vol. 32, pp. 48–92.
24. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Opredeleniye kinetiki zazhiganiya tipichnykh zhidkikh topliv istochnikami nagreva s konechnym zapasom energii [Ignition kinetic determination of typical liquid fuels by heating sources with limited energy content]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 7, pp. 35–40.

Н. В. БАРАНОВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; e-mail: firedanger@yandex.ru.)

УДК 614.841.12:533.6

НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СФОКУСИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Предложен новый подход к оценке пожарной опасности лесных массивов в условиях воздействия на лесной горючий материал сфокусированного солнечного излучения. Рассмотрена методология такой оценки на территориях выдела, квартала, участкового лесничества. Сформулированы практические рекомендации по оценке лесной пожарной опасности.

Ключевые слова: подход; лесная пожарная опасность; оценка; сфокусированное солнечное излучение.

Введение

В последние годы на территории Российской Федерации тушение лесных пожаров затягивается на многие дни и даже недели, что обусловлено большими площадями лесных массивов, на отдельных участках которых возникают возгорания. Например, при возникновении лесных пожаров на территории Томской обл. в июне 2012 г. последние были ликвидированы (по данным СМИ) только в сентябре. Аналогично в странах Южной Европы, в которых площади лесных массивов намного меньше, чем в России, пожары, как правило, затухают только после полного выгорания массива или с началом интенсивных дождей [1]. Пока отсутствуют прямые доказательства полной ликвидации лесных пожаров исключительно тушением с использованием современных средств, без воздействия природных и топографических факторов (дожди, реки, болота, горные массивы, дороги и др.). Это дает основания полагать, что во многих реальных случаях лесные пожары ликвидировать в определенные сроки даже на минимальных площадях горения почти невозможно. В связи с этим можно сделать вывод, что наилучшим способом борьбы с лесными пожарами является их предотвращение. Возможно, разработка эффективных методов оценки вероятности лесной пожарной опасности станет наиболее результативной и экономически эффективной формой борьбы с лесными пожарами.

Создание системы прогноза лесной пожарной опасности возможно на основе анализа основных причин возгораний в лесу. К сожалению, пока попытки расследовать ситуацию во многих регионах заканчиваются тем, что либо не удается установить причину возгораний, либо причиной считают умыш-

ленный поджог. В этом случае что-либо прогнозировать невозможно.

В то же время в последние годы выполнен ряд исследований, в которых изучена возможность возникновения возгораний в лесу в результате воздействия как антропогенных [2, 3], так и природных [4, 5] факторов.

В результате теоретических [6, 7] и экспериментальных [8] исследований установлено, что сфокусированное солнечное излучение является реальным фактором лесной пожарной опасности. Анализ доступной информации по лесным пожарам показывает, что достаточно высока доля лесных пожаров (по Томской обл., например, до 10 % пожаров от общего числа), возникших по неустановленной причине [9]. Целесообразна разработка соответствующего подхода к классификации лесных массивов по уровню пожарной опасности лесных горючих материалов (ЛГМ) на конкретных территориях в условиях воздействия концентрированных потоков солнечного излучения.

Цель исследования — разработка нового подхода к оценке лесной пожарной опасности на лесопокрываемых территориях в условиях действия сфокусированного солнечного излучения.

Состояние проблемы

Концентратором солнечной энергии могут быть как природные (крупные капли смолы хвойных деревьев), так и антропогенные (стеклянные емкости с жидкостью, осколки стеклянных изделий) объекты. Установлено, что стеклянные емкости могут концентрировать солнечное излучение до 22 крат [10].

Известно [11], что тепловой поток естественного солнечного излучения в умеренных широтах составляет примерно 1 кВт/м^2 . Следовательно, концентрированный стекляннным объектом тепловой поток сфокусированного солнечного излучения может достигать 22 кВт/м^2 . Разработаны математические модели тепло- и массопереноса при зажигании ЛГМ сфокусированным солнечным излучением [6, 7, 12]. В результате математического моделирования установлено, что нижний предел по тепловому потоку при данных условиях зажигания ЛГМ составляет 15 кВт/м^2 . Экспериментальные исследования по зажиганию ЛГМ сфокусированным солнечным излучением (концентратор — вогнуто-выпуклая линза) показали, что воспламенение горючего материала возможно при тепловом потоке $17,78 \text{ кВт/м}^2$.

В настоящее время в различных странах мира (например, в Канаде [13], США [14], Южной Европе [15] и России [16]) применяются системы оценки лесной пожарной опасности, в основе которых лежит статистическое усреднение показателей пожарной опасности (вероятности, индексы и т. д.) по большим площадям и интервалам времени. Все известные методы оценки лесной пожарной опасности не учитывают возможность воспламенения ЛГМ в результате воздействия сфокусированного солнечного излучения. Необходима разработка новой концепции оценки лесной пожарной опасности массивов по такому фактору.

Описание предлагаемого подхода

Для современного лесного хозяйства характерна уровневая организационная структура, которая графически (до областного уровня) представлена на рис. 1. Оценка лесной пожарной опасности может проводиться на уровне отдельного выдела, квартала или участкового лесничества. Более крупную оценку не имеет смысла проводить в силу значительной разнородности породного состава лесных массивов и разного уровня антропогенной нагрузки на этих территориях [17–19]. Для визуализации оценочной информации целесообразно использовать технологии геоинформационных систем (ГИС) [20, 21].

Продemonстрируем методику реализации нового подхода на достаточно типичном примере участкового лесничества. Пусть оно содержит 50 кварталов, каждый из которых включает 20 выделов. Соответственно, в самом общем случае возможны достаточно существенные различия выделов по составу и состоянию ЛГМ (например, возвышенность или болотистое место, смешанный лес с преобладанием хвойных или лиственных пород).

На первом этапе проиллюстрируем оценку лесной пожарной опасности на примере уровня одного квартала. Условная схема квартала представлена на

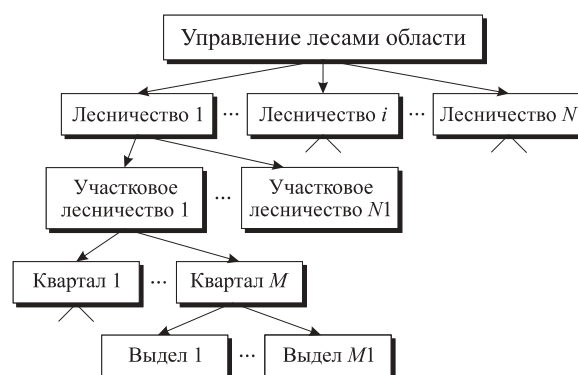


Рис. 1. Структура лесного хозяйства до уровня области

рис. 2. На рисунке приняты следующие обозначения выделов по отличительному признаку наличия на их территории: дорожной сети — Д; водоема — В; болота — Б; низины — Н; лиственного леса — Л; смешанного леса — С; старого хвойного леса — ХС; молодого хвойного леса — ХМ. Такое разделение достаточно условно, но в первом приближении оно отражает наиболее типичные признаки отдельных, достаточно крупных участков леса.

Опишем процедуру последовательного исключения малогоримых участков, не представляющих большой пожарной опасности. Первоначально необходимо исключить выделы с дорожной сетью на территории квартала, так как из-за отсутствия ЛГМ там невозможно возгорание. Пожароопасными останутся участки лесопокрытой территории. Карта рассматриваемого квартала примет вид, приведенный на рис. 3,а (здесь и далее участки, не представляющие пожарной опасности, помечены серым цветом).

На следующем этапе следует исключить участки с водоемами и водонасыщенными болотами, так как там либо нет ЛГМ, либо они имеют высокую влажность (рис. 3,б). Затем необходимо изъять из дальнейшего рассмотрения территории, расположенные в низинах, поскольку на них отсутствует интенсивный приток окислителя, необходимого для возгорания под воздействием сфокусированного солнечного излучения. Итоговая по этим этапам информация представлена на рис. 3,в.

1	2	3	4	5
Б	Б	В	В	В
6	7	8	9	10
Л	В	Л	Л	Л
11	12	13	14	15
ХС	ХМ	ХС	Н	Д
16	17	18	19	20
С	С	ХС	Д	Н

Рис. 2. Типичная структура квартала

а					б					в							
1	Б	Б	В	В	В	1	Б	Б	В	В	В	1	Б	Б	В	В	В
6	Л	В	Л	Л	Л	6	Л	В	Л	Л	Л	6	Л	В	Л	Л	Л
11	ХС	ХМ	ХС	Н	Д	11	ХС	ХМ	ХС	Н	Д	11	ХС	ХМ	ХС	Н	Д
16	С	С	ХС	Д	Н	16	С	С	ХС	Д	Н	16	С	С	ХС	Д	Н

г					д					е							
1	Б	Б	В	В	В	1	Б	Б	В	В	В	1	Б	Б	В	В	В
6	Л	В	Л	Л	Л	6	Л	В	Л	Л	Л	6	Л	В	Л	Л	Л
11	ХС	ХМ	ХС	Н	Д	11	ХС	ХМ	ХС	Н	Д	11	ХС	ХМ	ХС	Н	Д
16	С	С	ХС	Д	Н	16	С	С	ХС	Д	Н	16	С	С	ХС	Д	Н

Рис. 3. Типичная структура квартала после исключения выделов с наличием: *a* — дорожной сети; *б* — водоемов и водонасыщенных болот; *в* — низин; *г* — лиственного леса; *д* — смешанного леса; *е* — молодого хвойного леса

Далее необходимо исключить из рассмотрения участки с лиственным лесом, так как в результате экспериментов [8] было установлено, что даже сухие листья не зажигаются ни при каких реальных условиях воздействия сфокусированного солнечного излучения (рис. 3, *г*). Аналогично можно не учитывать участки и со смешанным лесом (рис. 3, *д*). В таких массивах образуется верхний слой ЛГМ преимущественно из листьев, а нижний — из хвоинок, лежащих не сплошным слоем, а разрозненно и на некотором расстоянии от поверхности [22]. Но мы знаем, что отдельные хвоинки горят без образования пламени [8, 23], т. е. в режиме тления.

Последним классифицируется как не представляющий пожарной опасности хвойный лес, образованный относительно молодым древостоем. На таких деревьях обычно нет крупных капель смолы и, соответственно, отсутствует концентратор солнечной энергии. Итоговая графическая информация представлена на рис. 3, *е*. После серии последовательных итераций получим карту с наиболее пожароопасными участками, т. е. со старым хвойным лесом.

Сформулированный выше алгоритм может быть в дальнейшем уточнен за счет ввода дополнительных, более детальных признаков горимости и их учета. Для такой оценки на уровне участкового лесничества можно проводить усреднение пожароопасных характеристик по территории каждого квартала и затем выполнять процедуру исключения менее

опасных кварталов в соответствии с вышеописанной технологией классификации лесных массивов по уровню пожарной опасности в условиях воздействия сфокусированного солнечного излучения.

Практические рекомендации

Для служб охраны лесов от пожаров предлагаются следующие рекомендации:

- 1) периодически обновлять лесотаксационные описания лесных массивов (возраст древостоя, изменение долей деревьев лиственных и хвойных пород);
- 2) ввести в лесотаксационные описания результаты наземной таксации ЛГМ (виды отдельных ЛГМ, слои и комплексы ЛГМ);
- 3) осуществить прецизионную оценку и классификацию лесных массивов по уровню пожарной опасности на уровне лесотаксационного выдела;
- 4) рассматривать в качестве основной оценки лесных массивов по уровню пожарной опасности на уровне кварталов и участковых лесничеств;
- 5) выделить лесничих для мониторинга и наблюдения за пожароопасными лесными участками вблизи населенных пунктов;
- 6) в местах высокой концентрации пожароопасных участков установить наблюдательные вышки, оснащенные системами видеореги-

- страции и удаленного доступа, например по каналам сотовой связи GSM (с GPS- или ГЛОНАСС-навигатором и сотовым модемом);
- 7) на удаленных территориях организовать оптимальные маршруты полетов самолетов авиалесоохраны с целью мониторинга наиболее пожароопасных участков;
 - 8) при доступности спутниковой информации в первую очередь обрабатывать космоснимки опасных территорий.

Следует отметить, что предложенный подход к оценке пожарной опасности (вероятности возгораний) при воздействии сфокусированного солнечного излучения может быть реализован с использованием полученных экспериментальных [8] и теоретических [6, 7, 12] результатов без решения таких достаточно сложных математических задач,

как, например, при воздействии одиночных, нагретых до высоких температур частиц [2, 3, 24, 25] или грозового разряда [4, 5]. Обобщение полученных ранее результатов [6–8, 12, 26] позволяет выработать конкретные рекомендации по любому участковому лесничеству при наличии достаточно умеренного объема информации о состоянии лесопокрытых территорий конкретных выделов.

Заключение

Разработан новый подход к классификации лесных территорий по уровню пожарной опасности в условиях воздействия на ЛГМ концентрированных потоков солнечной энергии. Предложены практические рекомендации для служб охраны лесов по повышению надежности прогноза лесной пожарной опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schmuck G., San-Miguel-Ayanz J., Camia A., Durrant T., Boca R., Whitmore C., Liberta G., Corti P. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2011 : JRC Technical Reports. — Italy, Ispra : Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2012. — 109 p.
2. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 42–46.
3. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Пространственная постановка и численное исследование задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей // Бутлеровские сообщения. — 2010. — Т. 22, № 12. — С. 30–37.
4. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 41–45.
5. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Условия зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 3. — С. 29–35.
6. Барановский Н. В. Численное исследование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения // Бутлеровские сообщения. — 2011. — Т. 26, № 11. — С. 53–60.
7. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения с учетом пористости ЛГМ и проникновения излучения в слой // Химическая физика и мезоскопия. — 2011. — Т. 13, № 3. — С. 326–330.
8. Барановский Н. В. Экспериментальные исследования зажигания слоя лесных горючих материалов сфокусированным солнечным излучением // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 23–27.
9. Янко И. В. Пирологическая оценка территории Томской области : дис. ... канд. геогр. наук. — Томск : Томский государственный педагогический университет, 2005. — 174 с.
10. Babrauskas V. Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management, and forensic science. — Issaquah : Fire Science Publishers, 2003. — 1116 p.
11. Магомедов А. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. — Махачкала : АОЗТ “Юпитер”, 1996. — 245 с.
12. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Детерминированно-вероятностный прогноз лесопожарных возгораний // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 5. — С. 56–59.
13. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B. J. Stocks, M. E. Alexander, R. S. McAlpine, et al. — Canadian Forestry Service, 1987. — 500 p.
14. Deeming I. E., Lancaster I. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. J. The National Fire-Danger Rating System : Research Paper RM-84. — USDA Forest Service, 1972. — 165 p.
15. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A., et al. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // International Journal of Wildland Fire. — 1999. — Vol. 10, No. 4. — P. 235–246.

16. *Нестеров В. Г.* Горимость леса и методы ее определения. — М.-Л. : Гослесбумиздат, 1949. — 76 с.
17. *Барановский Н. В.* Влияние антропогенной нагрузки и грозовой активности на вероятность возникновения лесных пожаров // Сибирский экологический журнал. — 2004. — № 6. — С. 835–842.
18. *Барановский Н. В.* Совместное действие антропогенной нагрузки и грозовой активности и вероятность возникновения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 3. — С. 52–56.
19. *Барановский Н. В.* Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 93–99.
20. *Барановский Н. В., Жарикова М. В., Ляшенко Е. Н.* Проект веб-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности с применением параллельных вычислительных технологий // Экологические системы и приборы. — 2012. — № 8. — С. 22–27.
21. *Жарикова М. В., Барановский Н. В., Ляшенко Е. Н.* Концептуальный проект веб-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 3. — С. 62–68.
22. *Курбатский Н. П.* Исследование свойств и количества лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. — Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1970. — С. 5–58.
23. *Гришин А. М., Голованов А. Н., Медведев В. В.* О зажигании слоя лесных горючих материалов световым излучением // Физика горения и взрыва. — 1999. — Т. 35, № 6. — С. 22–25.
24. *Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В.* Зажигание конденсированного вещества “горячей” частицей // Химическая физика. — 2004. — Т. 23, № 3. — С. 67–72.
25. *Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В.* Численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40, № 1. — С. 78–85.
26. *Барановский Н. В., Кузнецов Г. В.* Конкретизация неустановленных причин в детерминированно-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 24–27.

Материал поступил в редакцию 11 ноября 2012 г.

English

NEW APPROACH TO FIRE DANGER ESTIMATION OF FOREST AREAS IN CONDITIONS OF ACTION OF THE FOCUSED SUNLIGHT

BARANOVSKIY Nikolay Viktorovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Theoretical and Industrial Heating Engineers Department, Power Engineering Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenin Avenue, 30, Tomsk 634050, Russian Federation; e-mail address: firedanger@yandex.ru)

ABSTRACT

Practice of forest fire suppression, both in the Russian Federation, and in foreign countries (for example, Southern Europe) shows, that the fires cannot be liquidated accessible technological means, and they fade only after loss of a considerable quantity of deposits. As a result of author's researches it is established, that the important factor of forest fire danger is influence of the focused sunlight.

Research objective – working out of the new approach to estimation of forest fire danger on forested territories in the conditions of action of the focused sunlight.

The solar energy concentrator can be as natural (large drops of pitch of coniferous trees), and anthropogenous (glass capacities with a liquid, splinters of glass products) objects.

Let's illustrate an estimation of forest fire danger on an example of level of one quarter. Can be identified sites to a distinctive sign of presence in their territory: road system, water reservoir, bog, lowland, deciduous forest, mixed forest, old coniferous forest, young coniferous forest. Such division is conditional enough, but as a first approximation it reflects the most typical signs separate, enough large sites of forest. Then to be spent a consecutive exception of the sites which are not representing to fire danger. Research has shown, that the greatest danger of occurrence of forest fires in the conditions of the focused sunlight represent sites with old coniferous forest.

For protection services of forests from fires following recommendations are offered:

- 1) periodically to update forest taxation descriptions of large forests;
- 2) to enter in forest taxation descriptions results of land valuation of forest fuel;
- 3) to carry out a precision estimation and classification of large forests by level of fire danger at level of site;
- 4) to consider as the basic an estimation of large forests on level of fire danger at level of quarters and local forest areas;
- 5) to allocate forest wardens for monitoring and supervision over fire-dangerous forest plots near to settlements;
- 6) in places of high concentration of fire-dangerous sites to stand the observant towers equipped with systems of video registration and remote access, for example, on channels of cellular communication GSM (with GPS- or the GLONASS-NAVIGATOR and the cellular modem);
- 7) in remote territories to organise optimum routes of flights of forest protection planes for the purpose of monitoring of the most fire-dangerous territories;
- 8) at availability of the satellite information first of all to process land sounding pictures of dangerous territories.

New approach to classification of forested territories by level of fire danger in the conditions of influence on forest fuel of the concentrated fluxes of solar energy is developed. Practical recommendations for protection services of forests on increase of reliability of the forecast of forest fire danger are offered.

Keywords: approach; forest fire danger; estimation; focused sunlight.

REFERENCES

1. Schmuck G., San-Miguel-Ayanz J., Camia A., Durrant T., Boca R., Whitmore C., Liberta G., Corti P. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2011. *JRC Technical Reports*. Italy, Ispra, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2012. 109 p.
2. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya sloya lesnykh goryuchikh materialov nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Mathematical modelling of forest fuel layer ignition by heated up to high temperatures particle]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 4, pp. 42–46.
3. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Prostranstvennaya postanovka i chislennoye issledovaniye zadachi o zazhiganiy sloya lesnogo goryuchego materiala nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Spatial statement and numerical research of a problem about forest fuel layer ignition by heated up to high temperatures particle]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2010, vol. 22, no. 12, pp. 30–37.
4. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya dereva khvoynoy porody nazemnym grozovym razryadom [Mathematical modelling of coniferous tree ignition by ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 41–45.
5. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Usloviya zazhiganiya dereva khvoynoy porody nazemnym grozovym razryadom [Condition of coniferous tree ignition by ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 29–35.
6. Baranovskiy N. V. Chislennoye issledovaniye zazhiganiya sloya lesnogo goryuchego materiala sfokusirovannym potokom solnechnogo izlucheniya [Numerical research of forest fuel layer ignition by the focused flux of sunlight]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2011, vol. 26, no. 11, pp. 53–60.
7. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Modelirovaniye zazhiganiya sloya lesnogo goryuchego materiala sfokusirovannym potokom solnechnogo izlucheniya s uchetoм poristosti LGM i proniknoveniya izlucheniya v sloy [Modelling of forest fuel layer ignition by the focused flux of sunlight taking into account forest fuel porosity and penetrations of radiation into a layer]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2011, vol. 13, no. 3, pp. 326–330.
8. Baranovskiy N. V. Eksperimentalnyye issledovaniya zazhiganiya sloya lesnykh goryuchikh materialov sfokusirovannym solnechnym izlucheniym [Experimental researches of forest fuel layer ignition by the focused sunlight]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 23–27.
9. Yanko I. V. *Pirologicheskaya otsenka territorii Tomskoy oblasti*. Dis. kand. geogr. nauk [Pirologicheskyy estimation of Tomsk region territory. Cand. geograph. sci. diss.]. Tomsk, 2005. 174 p.

10. Babrauskas V. *Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management, and forensic science*. Issaquah, Fire Science Publishers, 2003. 1116 p.
11. Magomedov A. M. *Netraditsionnyye vozobnovlyayemye istochniki energii* [Nonconventional renewed energy sources]. Makhachkala, Joint-Stock Company "Yupiter", 1996. 245 p.
12. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Determinirovanno-veroyatnostnyy prognoz lesopozharnykh vozgoraniy [Deterministic-probabilistic forecast of forest ignitions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 56–59.
13. B. J. Stocks, M. E. Alexander, R. S. McAlpine, et al. *Canadian Forest Fire Danger Rating System*. Canadian Forestry Service, 1987. 500 p.
14. Deeming I. E., Lancaster I. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. J. *The National Fire-Danger Rating System: Research Paper RM-84*. USDA Forest Service, 1972. 165 p.
15. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A., et al. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, 1999, vol. 10, no. 4, pp. 235–246.
16. Nesterov V. G. *Gorimost lesa i metody yeye opredeleniya* [Forest combustibility and methods of its definition]. Moscow–Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1949. 76 p.
17. Baranovskiy N. V. Vliyaniye antropogennoy nagruzki i grozovoy aktivnosti na veroyatnost vozniknoveniya lesnykh pozharov [Influence of anthropogenous loading and storm activity on probability of forest fire occurrence]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal — Siberian Ecological Journal*, 2004, no. 6, pp. 835–842.
18. Baranovskiy N. V. Sovmestnoye deystviye antropogennoy nagruzki i grozovoy aktivnosti i veroyatnost vozniknoveniya lesnykh pozharov [Joint action of anthropogenous loading both storm activity and probability of occurrence of forest fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 52–56.
19. Baranovskiy N. V. Otsenka veroyatnosti vozniknoveniya lesnykh pozharov s ucheto meteorosloviy, antropogennoy nagruzki i grozovoy aktivnosti [Estimation of forest fire occurrence probability taking into account meteorconditions, anthropogenous loading and storm activity]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 1, pp. 93–99.
20. Baranovskiy N. V., Zharikova M. V., Lyashenko Ye. N. Proyekt veb-oriyentirovannoy geograficheskoy informatsionnoy sistemy prognoza lesnoy pozharoy opasnosti s primeneniym parallelnykh vychislitelnykh tekhnologiy [The project of the web-oriented geographical information system of the forecast of forest fire danger with application of parallel computing technologies]. *Ekologicheskiye sistemy i pribory — Ecological Systems and Devices*, 2012, no. 8, pp. 22–27.
21. Zharikova M. V., Baranovskiy N. V., Lyashenko Ye. N. Kontseptualnyy proyekt veb-oriyentirovannoy geograficheskoy informatsionnoy sistemy prognoza lesnoy pozharoy opasnosti [The conceptual project of the web-oriented geographical information system of the forecast of forest fire danger]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 62–68.
22. Kurbatskiy N. P. Issledovaniye svoystv i kolichestva lesnykh goryuchikh materialov [Research of properties and quantity of forest combustible materials]. *Voprosy lesnoy pirolologii — Questions of Forest Pyrology*. Krasnoyarsk, IFand W SB AS USSR, 1970, pp. 5–58.
23. Grishin A. M., Golovanov A. N., Medvedev V. V. O zazhiganiy sloya lesnykh goryuchikh materialov svetovym izlucheniym [About ignition of forest fuel layer by light radiation]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Burning and Explosion*, 1999, vol. 35, no. 6, pp. 22–25.
24. Kuznetsov G. V., Mamontov G. Ya., Taratushkina G. V. Zazhiganiye kondensirovannogo veshchestva "goryachey" chastitsey [Ignition of condensed substance by "hot" particle]. *Khimicheskaya fizika — Chemical Physics*, 2004, vol. 23, no. 3, pp. 67–72.
25. Kuznetsov G. V., Mamontov G. Ya., Taratushkina G. V. Chislennoye modelirovaniye zazhiganiya kondensirovannogo veshchestva nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Numerical modelling of condensed substance ignition by heated up to high temperatures particle]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Burning and Explosion*, 2004, vol. 40, no. 1, pp. 78–85.
26. Baranovskiy N. V., Kuznetsov G. V. Konkretizatsiya neustanovlennyykh prichin v determinirovanno-veroyatnostnoy modeli prognoza lesnoy pozharoy opasnosti [Concretization of unstated reasons in a deterministic-probabilistic forecasting model of forest fire danger]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 24–27.

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, эксперт ООО “ПРОМЕТ”, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

К. С. АЛЕКСЕЕВ, аспирант научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54-а; e-mail: paradox2405@mail.ru)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой Уральской государственной сельскохозяйственной академии, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@yandex.ru)

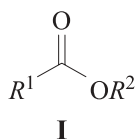
УДК 614.84:547-326

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. VIII. СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ (ЧАСТЬ 1)*

Найдены эмпирические формулы для определения физико-химических и пожароопасных свойств алифатических сложных эфиров. Показано применение правила углеродной цепи и положения функциональной группы для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств на примере эфиров карбоновых кислот.

Ключевые слова: сложный эфир; правило; свойство; пожарная опасность; показатель.

В рамках начатого нами исследования [1–7] по изучению взаимосвязи химического строения и пожароопасных свойств в этой работе представлены результаты исследований органических соединений, относящихся к классу алифатических сложных эфиров, имеющих общую формулу (I):



Исходные данные для исследования (табл. 1) взяты из электронных баз данных и справочной литературы [8–12]. В табл. 1 приведены показатели пожарной опасности и физико-химических свойств алифатических сложных эфиров линейного строения.

Уравнение (1), описывающее линейную зависимость температуры вспышки $t_{\text{всп}}$ (°C) от температуры кипения $t_{\text{кип}}$ (°C), часто используется в прогнозировании пожароопасных свойств химических соединений [12–14], однако эта формула применительно к сложным эфирам не нашла отражения в ГОСТ 12.1.044–89* [14]. Ранее были найдены коэффициенты a и b для алкильных эфиров муравьиной, уксусной и пропионовой кислот [15, 16]. В дальнейшем на основании отечественных данных [11, 12] для сложных эфиров путем регрессионного анализа

было подтверждено существование линейной зависимости (1) с коэффициентом корреляции $r = 0,9914$ ($a = 1,005 \pm 0,007$, $b = 55,86 \pm 0,67$) [17–19]:

$$t_{\text{всп}} = at_{\text{кип}} - b, \quad (1)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты; для алкил-ацетатов — $a = 0,60$ или $0,603$, $b = 45,3$ или $46,71$; для алкилформиатов — $a = 0,70$, $b = 61,1$; для алкилпропионатов — $a = 0,43$, $b = 31,2$.

В модифицированном уравнении Орманди–Крэвена (Ormandy–Craven) уточнены значения эмпирических коэффициентов в формуле (1) для сложных эфиров: $a = 0,627$, $b = 50,4^{**}$. Найдено, что это уравнение работает в диапазоне от C_2 до C_{22} (см. табл. 1)***.

Найдены удовлетворительные зависимости между рядом физико-химических параметров (температура кипения, критические температура и давление, теплота парообразования) и пожаровзрывоопасных свойств (температуры вспышки и воспламенения, концентрационные и температурные пределы воспламенения, теплота сгорания) от числа углеродных

** Уравнение выведено по средним значениям температур вспышки и кипения, приведенным в табл. 1 ($r^2 = 0,9924$). При составлении корреляции литературные данные — прогноз были исключены некоторые аномальные литературные данные (см. табл. 1).

*** Начиная с C_{23} сложные эфиры линейного строения являются твердыми веществами с температурой плавления выше 50°C , что не позволяет их рассматривать как жидкости согласно п. 1.3 ГОСТ 12.1.044–89* [14].

* Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, № 5 за 2010 г. и № 6, 7 и 9 за 2011 г., № 7 и 9 за 2012 г.

Таблица 1. Справочные [7–11] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства соединений (I)

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУЦ)	Брутто- формула	$D, \text{з}$ кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{\text{к}}, \text{атм}$	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
H	CH ₃	II (2)	C ₂ H ₄ O ₂	971	305	487	247	729	252	245...271	28,6	892,4	59,2	5,2...23
				974	306	482	252	722	255	236...268		1010	59,3	4,5...23
H	CH ₃ CH ₂	III (3)	C ₃ H ₆ O ₂	921	327	508	254	728	262	251...282		1506,9	46,8	2,8...15,7
				917	339	507	253	713	269	253...282	32,3	1624	46,6	2,7...16,5
CH ₃	CH ₃	IV (3)	C ₃ H ₆ O ₂	940	326	509	264*	743	266	256...284		1497	46,8	3,2...16,0
				940	330	509	256	743	266	255...285		1537,9	49,2	3,0...15,5
H	CH ₃ (CH ₂) ₂	V (4)	C ₄ H ₈ O ₂	938	330	506	260	775	263	258...283		1461,0	46,9	3,1...14
				934	331	507	258*	728	269	257...284	32,5	1672	45,3	3,1...16,0
H	CH ₃ (CH ₂) ₂	V (4)	C ₄ H ₈ O ₂	906	354	538	270	728	281	271...299		2041,0	39,7	2,3...11,3
				904	354	531	273*	723	282	268...299	36,5	2078	40,1	2,4...7,8
CH ₃	CH ₃ CH ₂	VI (4)	C ₄ H ₈ O ₂	910	352	530	271	718	279	269...300	34,6	2103,2	39,1	2,3...12,2
				910	354	530	272	718	279	269...299		2080,6	40,1	2,2...11,9
CH ₃ CH ₂	CH ₃ CH ₂	VI (4)	C ₄ H ₈ O ₂	902	350	523	269	700	279	267...297		2061,0	38,3	2,2...11,5
				902	351	523	270	718	282	267...301	35,6	2288	38,0	2,1...11,5
CH ₃ CH ₂	CH ₃ CH ₂	VII (4)	C ₄ H ₈ O ₂	915	353	531	271	742	278	269...300	34,6	2078,0	39,5	2,2...12,4
				910	352	530	272	728	279	269...299		2308,6	39,1	2,2...11,9
CH ₃ CH ₂	CH ₃ CH ₂	VII (4)	C ₄ H ₈ O ₂	915	353	531	271	742	278	269...300	34,6	2078,0	39,5	2,2...12,4
				910	352	530	272	728	279	269...299		2308,6	40,1	2,2...11,9
CH ₃ CH ₂	CH ₃ CH ₂	VII (4)	C ₄ H ₈ O ₂	915	353	531	271	742	278	269...300	34,6	2078,0	39,5	2,2...12,4
				910	352	530	272	728	279	269...299		2308,6	40,1	2,2...11,9

H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	VIII (5)	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	898 892 889 <u>896</u>	379 380 377 <u>376</u>	559 589 554 <u>552</u>	286 291 287 288 289* 290* 286 <u>284</u>	595 593 558	295 296 <u>294</u>	284...313 283...319 283...316 <u>283...317</u>	36,8 <u>38,8</u>	2709,9 2681 2709,4 <u>2716,7</u>	34,6 36,7 33,9 <u>34,9</u>	1,7...8 1,7...8,2 1,7...10,5 1,7...9,8 <u>1,8...10,0</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	IX (5)	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	886 888 <u>896</u>	375 368 350 377 <u>376</u>	550 549 554 <u>552</u>	284 287 287* 282* 286 <u>284</u>	723 703 708	297 296 <u>294</u>	283...310 282...316 283...316 <u>283...317</u>	39,1 <u>39,8</u>	2672,0 2681 2709,4 <u>2716,7</u>	31,2 33,9 <u>34,9</u>	1,8...8 1,7...8 1,7...10 1,7...9,8 <u>1,8...10,0</u>
CH_3CH_2	CH_3CH_2	X (5)	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	914 888 884 <u>896</u>	372 483 377 <u>376</u>	546 554 <u>552</u>	285 285* 286 <u>284</u>	713 748 718	292 296 <u>294</u>	281...315 281...313 283...316 <u>283...317</u>	39,3 <u>39,8</u>	2674,0 2681,1 2709,4 <u>2716,7</u>	33,2 33,9 <u>34,9</u>	1,8...11 1,7...11,2 1,7...9,8 <u>1,8...10,0</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	CH_3	XI (5)	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	898 <u>896</u>	376 375 377 <u>376</u>	555 554 <u>552</u>	287 287* 286 <u>284</u>	728	298 296	281...313 286...318 283...316 <u>283...317</u>	39,3 <u>39,8</u>	2686,0 2868 2681 2709,4 <u>2716,7</u>	34,3 33,9 <u>34,9</u>	1,6...8,8 0,9...3,5 1,7...10 1,7...9,8 <u>1,8...10,0</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	XII (6)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	885 <u>887</u>	405 403 399 <u>397</u>	576 576 <u>575</u>	301 303 305* 304* 300 <u>300</u>	538	313 310 <u>310</u>	300...335 296...337 296...332 <u>296...332</u>	43,3 <u>43,3</u>	3314,0 3285,5 3315,6 <u>3290,1</u>	30,8 30,0 <u>30,6</u>	1,3...8,1 1,4...9,2 1,4...8,3 <u>1,4...8,3</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	XIII (6)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	875 880 883 <u>887</u>	399 398 400 399 <u>397</u>	575 576 576 <u>575</u>	298 296 302 302* 301* 300 <u>300</u>	694 643 603	308 310 <u>310</u>	297...329 295...334 296...332 <u>296...332</u>	43,6 <u>43,3</u>	3280,0 3508 3285 3315,6 <u>3290,1</u>	30,5 30,5 30,0 <u>30,6</u>	1,4...7,6 1,4...7,5 1,7...7,6 1,4...9,0 1,4...8,3 <u>1,4...8,3</u>
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	XIV (6)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	878 881 <u>887</u>	397 396 399 <u>397</u>	576 575	292 300* 300 <u>300</u>		310 310	296...332 <u>296...332</u>	35,5 <u>43,3</u>	3315,6 <u>3290,1</u>	30,0 <u>30,6</u>	1,4...8,3 <u>1,4...8,3</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУП)	Брутто- формула	$D, ^\circ\text{C}$ кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{\text{к}}, \text{атм}$	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{вып}}$	$T_{\text{сас}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	CH_3CH_2	XV (6)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	900	525	569	299	733	306	293...332	43,2	3564	31,0	1,3...7,7
				875	393	576	298*	713	310	296...332	43,3	3285	30,0	1,4...9,2
				879	394	575	300	300	310	296...332		3315,6	30,6	1,4...8,3
				887	397							3290,1		1,4...8,3
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	CH_3	XVI (6)	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	910	400		302		311	298...339	44,1	3550	30,0	1,4...7,9
				875	401	576	300	693	310	296...332	43,3	3315,6	30,6	1,4...8,3
				894	399	575	302*		310	296...332		3290,1		1,4...8,3
				887	397		303*		310					
							300		300					
							300							
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	XVII (7)	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	875	429	607	320	523	328	316...353		3929,0	27,6	1,1...7,1
				879	428	597	310		323	309...353		3889,9	27,0	1,1...7,2
				881	421	597	320*		324	310...348		3921,8	27,9	1,2...7,3
				880	421		314			310...350		3936,0		1,2...7,4
							313							
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	XVIII (7)	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	876	421	600	310	633	323	309...345		3894,0	27,3	1,1...7,1
				880	422	598	296	648	323	313...353	48,0	4215	26,5	1,1...7,5
					419	597	316	633	324	310...348		3889,9	27,0	1,1...6,4
					421	597	316*	563		310...350		3921,8	27,9	1,2...7,3
					421		314*					3936,0		1,2...7,4
							314							
							313							
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	XIX (7)	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	895	418	595	313	700	322	308...343	39,1	3900,0	27,6	1,1...6,8
				875	419	594	305	698	323	307...350		3890	27,0	1,1...7,7
				880	421	597	316	658	324	310...348		3921,8	27,9	1,2...7,3
					421	597	314*			310...350		3936,0		1,2...7,4
							314							
							313							

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	XX (7)	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	<u>873</u> <u>880</u>	<u>416</u> <u>421</u> <u>421</u>	<u>594</u> <u>597</u> <u>597</u>	<u>310</u> <u>312*</u> <u>314</u> <u>313</u>	<u>679</u> <u>563</u>	<u>322</u> <u>323</u> <u>324</u>	<u>304...342</u> <u>309...351</u> <u>310...348</u> <u>310...350</u>	<u>48,7</u> <u>42,2</u>	<u>3893,0</u> <u>3889,9</u> <u>3921,8</u> <u>3936,0</u>	<u>26,8</u> <u>27,0</u> <u>27,9</u>	<u>1,1...7,5</u> <u>1,1...7,2</u> <u>1,2...7,3</u> <u>1,2...7,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	CH_3CH_2	XXI (7)	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	<u>894</u> <u>875</u> <u>877</u> <u>880</u>	<u>418</u> <u>421</u> <u>421</u>	<u>593</u> <u>597</u> <u>597</u>	<u>308</u> <u>307</u> <u>310</u> <u>313*</u> <u>314</u> <u>313</u>	<u>668</u>	<u>322</u> <u>323</u> <u>324</u>	<u>307...345</u> <u>310...348</u> <u>310...350</u>	<u>47,1</u>	<u>4204</u> <u>3921,8</u> <u>3936,0</u>	<u>27,0</u> <u>27,9</u>	<u>1,2...7,3</u> <u>1,2...7,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CH_3	XXII (7)	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	<u>904</u> <u>885</u> <u>880</u>	<u>424</u> <u>421</u> <u>421</u>	<u>596</u> <u>597</u> <u>597</u>	<u>314</u> <u>316</u> <u>315</u> <u>317*</u> <u>314</u> <u>313</u>	<u>528</u>	<u>326</u> <u>323</u> <u>324</u>	<u>312...357</u> <u>310...348</u> <u>310...350</u>	<u>42,2</u>	<u>3921,8</u> <u>3936,0</u>	<u>27,8</u> <u>27,0</u> <u>27,9</u>	<u>1,3...</u> <u>1,2...7,3</u> <u>1,2...7,4</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	XXIII (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	<u>886</u> <u>882</u> <u>878</u> <u>878</u>	<u>451</u> <u>441</u> <u>441</u>	<u>628</u> <u>617</u> <u>617</u>	<u>330</u> <u>333</u> <u>336</u> <u>334*</u> <u>326</u> <u>327</u>	<u>523</u>	<u>343</u> <u>337</u> <u>338</u>	<u>328...367</u> <u>327...367</u> <u>323...364</u> <u>324...364</u>	<u>41,5</u>	<u>4540,0</u> <u>4494,3</u> <u>4528,0</u> <u>4503,3</u>	<u>25,1</u> <u>24,6</u> <u>25,1</u>	<u>1...6,4</u> <u>1,0...6,7</u> <u>1,0...6,5</u> <u>1,0...6,8</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	XXIV (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	<u>890</u> <u>870</u> <u>878</u> <u>878</u>	<u>445</u> <u>611</u> <u>442</u> <u>441</u> <u>441</u>	<u>618</u> <u>617</u> <u>617</u>	<u>328</u> <u>335</u> <u>314</u> <u>330</u> <u>330*</u> <u>329*</u> <u>326</u> <u>327</u>	<u>528</u>	<u>338</u> <u>337</u> <u>338</u>	<u>324...364</u> <u>324...365</u> <u>323...364</u> <u>324...364</u>		<u>4505,0</u> <u>4494,3</u> <u>4528,0</u> <u>4503,3</u>	<u>25,1</u> <u>24,6</u> <u>25,1</u>	<u>0,9...6,4</u> <u>1...6,1</u> <u>1,0...7,0</u> <u>1,0...6,5</u> <u>1,0...6,8</u>
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	XXV (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	<u>876</u> <u>873</u> <u>878</u>	<u>440</u> <u>442</u> <u>441</u> <u>441</u>	<u>616</u> <u>617</u> <u>617</u>	<u>326</u> <u>329</u> <u>327*</u> <u>329*</u> <u>326</u> <u>327</u>	<u>650</u>	<u>337</u> <u>338</u>	<u>323...364</u> <u>324...364</u>	<u>40,5</u>	<u>4528,0</u> <u>4503,3</u>	<u>25,2</u> <u>24,6</u> <u>25,1</u>	<u>1,0...6,5</u> <u>1,0...6,8</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	XXVI (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	<u>872</u> <u>869</u> <u>871</u> <u>878</u>	<u>438</u> <u>439</u> <u>441</u> <u>441</u>	<u>616</u> <u>612</u> <u>617</u> <u>617</u>	<u>323</u> <u>322</u> <u>326</u> <u>327</u> <u>326*</u> <u>327*</u> <u>326</u> <u>327</u>	<u>623</u>	<u>336</u> <u>337</u> <u>338</u>	<u>319...356</u> <u>323...368</u> <u>323...364</u> <u>324...364</u>	<u>40,2</u>	<u>4507,0</u> <u>4494</u> <u>4528,0</u> <u>4503,3</u>	<u>25,1</u> <u>24,6</u> <u>25,1</u>	<u>1...6,1</u> <u>1,0...6,7</u> <u>1,0...6,5</u> <u>1,0...6,8</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУЦ)	Брутто- формула	$D, \text{ кг/м}^3$	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{\text{к}}, \text{ атм}$	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кп}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	XXVII (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	870 869 <u>878</u>	441 441 <u>441</u>	616 617 <u>617</u>	323 325 328* 326 <u>327</u>	652	337 337 <u>338</u>	323...368 323...364 <u>324...364</u>	40,5	4528,0 <u>4503,3</u>	25,1 24,6 <u>25,1</u>	1,0...6,7 <u>1,0...6,5</u> <u>1,0...6,8</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CH_3CH_2	XXVIII (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	869 871 <u>878</u>	441 441 <u>441</u>	617 617 <u>617</u>	326 328* 326 <u>327</u>	528	338 337 <u>338</u>	323...361 323...364 <u>324...364</u>		4528,0 <u>4503,3</u>	24,6 <u>25,1</u>	1,0...6,8 <u>1,0...6,5</u> <u>1,0...6,8</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CH_3	XXIX (8)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	898 870 880 881 <u>878</u>	445 446 441 <u>441</u>	628 617 <u>617</u>	330 325 328 330* 331* 326 <u>327</u>	518	340 337 <u>338</u>	325...373 323...364 <u>324...364</u>	53,1	4866 4528,0 <u>4503,3</u>	24,6 <u>25,1</u>	1,0...6,5 <u>1,0...6,8</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	XXX (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	877 874 <u>871</u>	472 461 <u>462</u>	645 636 <u>636</u>	349 350 347 347* 339 <u>342</u>	513	358 350 <u>353</u>	342...380 341... 337...380 <u>337...381</u>		5157,0 5099,4 5134,2 <u>5111,4</u>	23,0 22,6 <u>23,1</u>	0,8...5,8 0,9...6,8 <u>0,9...5,9</u> <u>0,9...6,4</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	XXXI (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	889 886 875 <u>871</u>	466 463 465 <u>461</u> <u>462</u>	637 636 <u>636</u>	343 340 341 344* 342* 343* 339 <u>342</u>	503	353 350 <u>353</u>	341...380 337...380 <u>337...381</u>	42,8	5115,0 5099,4 5134,2 <u>5111,4</u>	23,0 22,6 <u>23,1</u>	0,9...5,8 0,8...6,6 <u>0,9...5,9</u> <u>0,9...6,4</u>
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	XXXII (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	871 870 <u>871</u>	463 461 <u>462</u>	636 636 <u>636</u>	338 344 342* 339 <u>342</u>	533	352 350 <u>353</u>	339...386 337...380 <u>337...381</u>		5099,4 5134,2 <u>5111,4</u>	22,6 <u>23,1</u>	0,9...6,2 0,9...5,9 <u>0,9...6,4</u>

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	XXXIII (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	883 865 <u>871</u>	458 452 461 <u>462</u>	636 <u>636</u>	315 335 339* 335* 339 <u>342</u>	608	346 350 <u>353</u>	331...368 337...380 <u>337...381</u>	42,4	5092,7 5134,2 <u>5111,4</u>	22,6 <u>23,1</u>	0,9...6,2 0,9...5,9 <u>0,9...6,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	XXXIV (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	868 <u>871</u>	460 461 <u>462</u>	629 636 <u>636</u>	340 340* 339 <u>342</u>		350 <u>353</u>	337...381 337...380 <u>337...381</u>		5105,0 5134,2	23,0 22,6 <u>23,1</u>	0,9...7,5 0,9...5,9 <u>0,9...6,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	XXXV (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	867 <u>871</u>	460 461 <u>462</u>	636 <u>636</u>	325 340* 339 <u>342</u>		350 <u>353</u>	337...380 <u>337...381</u>		5134,2 <u>5111,4</u>	22,6 <u>23,1</u>	0,9...5,9 <u>0,9...6,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CH_3CH_2	XXXVI (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	870 882 <u>871</u>	462 460 461 <u>462</u>	636 <u>636</u>	347 338 341* 340* 339 <u>342</u>	523	350 350 <u>353</u>	335...374 337...380 <u>337...381</u>		5134,2 <u>5111,4</u>	22,6 <u>23,1</u>	0,9...5,8 0,9...5,9
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	CH_3	XXXVII (9)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	894 877 <u>871</u>	463 468 461 <u>462</u>	636 <u>636</u>	346 342 342* 345* 339 <u>342</u>		350 <u>353</u>	337...380 <u>337...381</u>	57,3	5134,2 <u>5111,4</u>	22,6 <u>23,1</u>	0,9...5,9 <u>0,9...6,4</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	XXXVIII (10)	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	867 <u>871</u>	487 495 481 <u>481</u>	656 654 <u>655</u>	356 365 357* 362* 350 <u>354</u>	503	373 364 <u>367</u>	354...396 353...409 350...396 <u>352...395</u>		5764,0 5703,2 5740,4 <u>5719,9</u>	21,1 20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,4 0,8...6,2 0,8...5,5 <u>0,8...5,7</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	XXXIX (10)	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	885 860 867 871 <u>871</u>	484 470 483 481 <u>481</u>	652 654 <u>655</u>	356 359 342 355 355* 346* 354*	541 493	368 364 <u>367</u>	354...394 347...400 350...396 <u>352...395</u>	44,7	5725,0 5703,2 5740,4 <u>5719,9</u>	21,2 20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,4 0,8...8,1 0,8...6,2 0,8...5,5 <u>0,8...5,7</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУП)	Брутто- формула	D_v , кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{кр}$, атм	КПВ, % (об.)
					$T_{кип}$	$T_{кр}$	$T_{исп}$	$T_{свс}$	$T_{вос}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
CH_3CH_2	$CH_3(CH_2)_6$	XL (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	868 <u>871</u>	483 481 <u>481</u>	654 <u>655</u>	361 354* 350 <u>354</u>	513	367 364 <u>367</u>	353... 350...396 <u>352...395</u>		5703,2 5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,8 0,8...5,5 <u>0,8...5,7</u>
$CH_3(CH_2)_2$	$CH_3(CH_2)_5$	XLI (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	851 865 <u>871</u>	478 481 <u>481</u>	654 <u>655</u>	357 351* 350 <u>354</u>	528	365 364 <u>367</u>	345...393 350...396 <u>352...395</u>	44,3	5703,2 5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,7 0,8...5,5 <u>0,8...5,7</u>
$CH_3(CH_2)_3$	$CH_3(CH_2)_4$	XLII (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	864 865 <u>871</u>	475 481 <u>481</u>	654 <u>655</u>	350 <u>354</u>		364 <u>367</u>	350...396 <u>352...395</u>	44,3	5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,5 0,8...5,7 <u>0,8...5,7</u>
$CH_3(CH_2)_4$	$CH_3(CH_2)_3$	XLIII (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	866 865 <u>871</u>	480 481 <u>481</u>	654 <u>655</u>	354 352 352* 353* 350 <u>354</u>	513	363 364 <u>367</u>	348... 350...396 <u>352...395</u>	44,3	5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8... 0,8...5,5 <u>0,8...5,7</u>
$CH_3(CH_2)_5$	$CH_3(CH_2)_2$	XLIV (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	<u>871</u>	481 <u>481</u>	654 <u>655</u>	350 354 <u>354</u>		364 <u>367</u>	350...396 <u>352...395</u>		5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,5 0,8...5,7 <u>0,8...5,7</u>
$CH_3(CH_2)_6$	CH_3CH_2	XLV (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	884 867 <u>871</u>	479 480 <u>481</u>	649 654 <u>655</u>	362 348 352* 350 <u>354</u>		364 <u>367</u>	350...396 <u>352...395</u>	59,5	5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,5 0,8...5,7 <u>0,8...5,7</u>
$CH_3(CH_2)_7$	CH_3	XLVI (10)	$C_{10}H_{20}O_2$	875 869 <u>871</u>	487 482 <u>481</u>	654 <u>655</u>	360 352 357* 354* 350 <u>354</u>	508	364 364 <u>367</u>	349...389 350...396 <u>352...395</u>		5740,4 <u>5719,9</u>	20,9 <u>21,2</u>	0,8...5,2 0,8...5,5 <u>0,8...5,7</u>
H	$CH_3(CH_2)_9$	XLVII (11)	$C_{11}H_{22}O_2$	866	506 499 <u>499</u>	672 672 <u>667</u>	370 369* 361 <u>367</u>		378 <u>379</u>	368...412 364...412 <u>363...412</u>		6375,0 6346,6 <u>6346,6</u>	19,6 19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,2 0,7...5,1 <u>0,7...5,1</u>

CH ₃	CH ₃ (CH ₂) ₈	XLVIII (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	868 864 892 <u>866</u>	497 483 485 505 <u>499</u>	661 672 <u>667</u>	372 363 373 363* 354* 355* 368* <u>361</u> <u>367</u>	630 491	386 378 <u>379</u>	364...405 360...417 364...412 <u>363...412</u>	44,6	6335,0 6307 6346,6 <u>6318,6</u>	19,6 19,4 <u>19,5</u>	0,7...5 0,7...5,7 0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
CH ₃ CH ₂	CH ₃ (CH ₂) ₇	XLIX (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	866 <u>866</u>	501 499 <u>499</u>	672 <u>667</u>	365 372 375 366* <u>361</u> <u>367</u>	503	381 378 <u>379</u>	369...423 364...412 <u>363...412</u>	46,5	6307,6 6346,6 <u>6318,6</u>	19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,3 0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
CH ₃ (CH ₂) ₂	CH ₃ (CH ₂) ₆	L (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	864 <u>866</u>	499 499 <u>499</u>	672 <u>667</u>	364 373 364* <u>361</u> <u>367</u>	513	380 378 <u>379</u>	363... 364...412 <u>363...412</u>	46,1	6307,6 6346,6 <u>6318,6</u>	19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,4 0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
CH ₃ (CH ₂) ₃	CH ₃ (CH ₂) ₅	LI (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	866 <u>866</u>	499 499 <u>499</u>	672 <u>667</u>	361 <u>367</u>		378 <u>379</u>	364...412 <u>363...412</u>		6346,6 <u>6318,6</u>	19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
CH ₃ (CH ₂) ₄	CH ₃ (CH ₂) ₄	LII (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	858 <u>866</u>	498 499 499 <u>499</u>	672 <u>667</u>	362 364 364* <u>361</u> <u>367</u>		378 <u>379</u>	364...412 <u>363...412</u>	46,1	6346,6 <u>6318,6</u>	19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
CH ₃ (CH ₂) ₅	CH ₃ (CH ₂) ₃	LIII (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	863 <u>866</u>	499 499 <u>499</u>	669 672 <u>667</u>	360 364* <u>361</u> <u>367</u>		378 <u>379</u>	364...412 <u>363...412</u>	46,1	6346,6 <u>6318,6</u>	19,4	0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
CH ₃ (CH ₂) ₆	CH ₃ (CH ₂) ₂	LIV (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	866 <u>866</u>	499 499 <u>499</u>	672 <u>667</u>	361 <u>367</u>		378 <u>379</u>	364...412 <u>363...412</u>		6346,6 <u>6318,6</u>	19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,1
CH ₃ (CH ₂) ₇	CH ₃ CH ₂	LV (11)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	866 <u>866</u>	493 499 <u>499</u>	672 <u>667</u>	366 367 361* <u>361</u> <u>367</u>		378 <u>379</u>	364...412 <u>363...412</u>		6346,6 <u>6318,6</u>	19,4 <u>19,5</u>	0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУЦ)	Брутто- формула	D_v , кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{кр}$, атм	КПВ, % (об.)
					$T_{кип}$	$T_{кр}$	$T_{всп}$	$T_{свс}$	$T_{вос}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$CH_3(CH_2)_8$	CH_3	LVI (11)	$C_{11}H_{22}O_2$	872 871 <u>866</u>	505 497 499 <u>499</u>	687 672 <u>667</u>	367 363 368* 363* 361 <u>367</u>		378 <u>379</u>	368...405 364...412 <u>363...412</u>	66,9	6348,5 6346,6 <u>6318,6</u>	19,2 19,4 <u>19,5</u>	0,7...4,2 0,7...5,1 <u>0,7...5,7</u>
H	$CH_3(CH_2)_{10}$	LVII (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	<u>866</u>	517 515	688 692	371 376		391 <u>390</u>	377...428 <u>365...418</u>	47,7	6952,8 <u>6947,0</u>	18,2 <u>18,2</u>	0,6...4,7 <u>0,7...5,0</u>
CH_3	$CH_3(CH_2)_9$	LVIII (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	863 867 <u>866</u>	517 517 <u>515</u>	678 688 692	387 >386 376* 371 <u>376</u>	488	398 391 <u>390</u>	376...419 373...433 377...428 <u>365...418</u>	47,7	6945,0 6912 6952,8 <u>6947,0</u>	18,4 18,2 <u>18,2</u>	0,6...4,7 0,6... 0,6...4,7 <u>0,7...5,0</u>
CH_3CH_2	$CH_3(CH_2)_8$	LIX (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	878 <u>866</u>	521 517 <u>515</u>	688 692	377 388 378* 371 <u>376</u>	508 497	386 394 391 <u>390</u>	371...417 382...440 377...428 <u>365...418</u>	47,7	6912 6952,8 <u>6947,0</u>	18,2 <u>18,2</u>	0,9...6,3 0,6...5,2 0,6...4,7 <u>0,7...5,0</u>
$CH_3(CH_2)_2$	$CH_3(CH_2)_7$	LX (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	862 863 <u>866</u>	497 517 <u>515</u>	688 692	376 385 363* 376* 371 <u>376</u>	503	393 391 <u>390</u>	384...441 377...428 <u>365...418</u>	47,7	6912 6952,8 <u>6947,0</u>	18,2 <u>18,2</u>	0,7...5,0 0,6...4,7 <u>0,7...5,0</u>
$CH_3(CH_2)_3$	$CH_3(CH_2)_6$	LXI (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	<u>866</u>	517 515	688 692	371 376		391 <u>390</u>	377...428 <u>365...418</u>	47,7	6952,8	18,2 <u>18,2</u>	0,6...4,7 <u>0,7...5,0</u>
$CH_3(CH_2)_4$	$CH_3(CH_2)_5$	LXII (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	863 <u>866</u>	519 517 <u>515</u>	688 692	372 377* 371 <u>376</u>		391 <u>390</u>	377...428 <u>365...418</u>	48,3 47,7	6952,8 <u>6947,0</u>	18,2 <u>18,2</u>	0,6...4,7 <u>0,7...5,0</u>
$CH_3(CH_2)_5$	$CH_3(CH_2)_4$	LXIII (12)	$C_{12}H_{24}O_2$	<u>866</u>	517 515	688 692	371 376		391 <u>390</u>	377...428 <u>365...418</u>	47,7	6952,8 <u>6947,0</u>	18,2	0,6...4,7

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	LXIV (12)	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	860 862 866	514 517 515	684 688 692	372 375 374* 371 376	503	385 391 390	368... 377...428 365...418	47,9 47,7	6952,8 6947,0	17,4 18,2 18,2	0,7... 0,6...4,7 0,7...5,0
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	LXV (12)	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	866	517 515	688 692	371 376		391 390	377...428 365...418	47,7	6952,8 6947,0	18,2 18,2	0,6...4,7 0,7...5,0
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	CH_3CH_2	LXVI (12)	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	862 865 866	518 517 515	688 692	377 375 376* 371 376		391 390	377...428 365...418	67,5 47,7	6952,8 6947,0	18,2 18,2	0,6...4,7 0,7...5,0
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	CH_3	LXVII (12)	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	865 866	515 517 515	688 692	382 374 374* 371 376	493	386 391 390	371...412 377...428 365...418	47,7	6952,8 6947,0	18,2 18,2	0,6...4,2 0,6...4,7 0,7...5,0
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	LXVIII (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864	534 530	704 702	381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	LXIX (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864 864	534 530	704 702	381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	LXX (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864 864	534 530	704 702	380 381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	LXXI (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864 864	534 530	704 702	381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	LXXII (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864 864	534 530	704 702	381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	LXXIII (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864 864	534 530	704 702	381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	LXXIV (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	864 864	534 530	704 702	381 384		405 397	366... 378...424	49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	LXXV (13)	$\text{C}_{13}\text{H}_{26}\text{O}_2$	869 860 864	533 534 530	704 702	382 386 386* 381 384		405 397	366... 378...424	49,6 49,8	7559,0 7542,7	17,0 17,0	0,6...4,5 0,6...4,3

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУП)	Брутто- формула	D , кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{кр}$, атм	КПВ, % (об.)
					$T_{кип}$	$T_{кр}$	$T_{жпл}$	$T_{сас}$	$T_{вос}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$CH_3(CH_2)_7$	$CH_3(CH_2)_3$	LXXVI (13)	$C_{13}H_{26}O_2$	<u>864</u>	520 534 <u>530</u>	<u>674</u> 704 <u>702</u>	<u>367</u> 377* 381 <u>384</u>		405 <u>397</u>	365...416 366... <u>378...424</u>	<u>49,8</u>	7561,0 7559,0 <u>7542,7</u>	17,2 17,0 <u>17,0</u>	0,6...5,8 0,6...4,5 <u>0,6...4,3</u>
$CH_3(CH_2)_8$	$CH_3(CH_2)_2$	LXXVII (13)	$C_{13}H_{26}O_2$	862 <u>864</u>	532 534 <u>530</u>	704 <u>702</u>	383 385* 381 <u>384</u>		405 <u>397</u>	366... <u>378...424</u>	49,6 <u>49,8</u>	7559,0 <u>7542,7</u>	17,0 <u>17,0</u>	0,6...4,5 0,6...4,3
$CH_3(CH_2)_9$	CH_3CH_2	LXXVIII (13)	$C_{13}H_{26}O_2$	880 859 <u>864</u>	531 534 532 <u>530</u>	704 <u>702</u>	383 >386 384* 381 <u>384</u>		405 <u>397</u>	366... <u>378...424</u>	49,6 <u>49,8</u>	7559,0 <u>7542,7</u>	17,0 <u>17,0</u>	0,6...4,5 0,6...4,3
$CH_3(CH_2)_{10}$	CH_3	LXXIX (13)	$C_{13}H_{26}O_2$	869 870 <u>864</u>	540 539 535 534 <u>530</u>	712 704 <u>702</u>	>386 390* 389* 387* 381 <u>384</u>	610	405 <u>397</u>	392...432 366... <u>378...424</u>	76,8 <u>49,8</u>	7566,8 7559,0 <u>7542,7</u>	16,3 17,2 17,0 <u>17,0</u>	0,6...3,7 0,6...4,9 0,6...4,5 <u>0,6...4,3</u>
H	$CH_3(CH_2)_{12}$	LXXX (14)	$C_{14}H_{28}O_2$	<u>863</u>	550 <u>549</u>	718 <u>723</u>	390 397		419 <u>414</u>	377... <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	8165,2 <u>8165,0</u>	16,0 <u>15,5</u>	0,5...4,2 0,6...4,3
CH_3	$CH_3(CH_2)_{11}$	LXXXI (14)	$C_{14}H_{28}O_2$	865 <u>863</u>	538 550 <u>549</u>	718 <u>723</u>	393 386 389* 390 <u>397</u>		419 <u>414</u>	377... <u>375...440</u>	50,3 <u>51,3</u>	8165,2 <u>8165,0</u>	16,0 <u>15,5</u>	0,5...4,2 0,6...4,1
CH_3CH_2	$CH_3(CH_2)_{10}$	LXXXII (14)	$C_{14}H_{28}O_2$	<u>863</u>	550 <u>549</u>	718 <u>723</u>	390 397		419 <u>414</u>	377... <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	8165,2 <u>8165,0</u>	16,0 <u>15,5</u>	0,5...4,2 0,6...4,1
$CH_3(CH_2)_2$	$CH_3(CH_2)_9$	LXXXIII (14)	$C_{14}H_{28}O_2$	862 <u>863</u>	550 <u>549</u>	718 <u>723</u>	>386 390 397		419 <u>414</u>	377... <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	8165,2 <u>8165,0</u>	16,0 <u>15,5</u>	0,5...4,2 0,6...4,1

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	LXXXIV (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	<u>390</u> <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	LXXXV (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	<u>390</u> <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	LXXXVI (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	<u>390</u> <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	LXXXVII (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	860 <u>863</u>	548 580 <u>550</u> <u>549</u>	718 <u>723</u>	394 386 395* 390 <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	51,3 <u>51,3</u>	8165,2 <u>8165,0</u>	16,0 <u>15,5</u>	0,5...4,2 <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	LXXXVIII (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	<u>390</u> <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	LXXXIX (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	860 <u>863</u>	<u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	<u>390</u> <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	XC (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	<u>390</u> <u>397</u>		<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	<u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	CH_3CH_2	XCI (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	868 862 860 <u>863</u>	542 <u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	411 386 391* 390 <u>397</u>	>573	<u>419</u> <u>414</u>	<u>377...</u> <u>375...440</u>	80,1 <u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	<u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CH_3	XCII (14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	864 863 <u>863</u>	563 542 <u>550</u> <u>549</u>	<u>718</u> <u>723</u>	396 386 391 404* 391* 390 <u>397</u>		403 <u>419</u> <u>414</u>	380... 420 <u>377...</u> <u>375...440</u>	52,9 <u>51,3</u>	<u>8165,2</u> <u>8165,0</u>	<u>16,0</u> <u>15,5</u>	0,5...3,6 <u>0,5...4,2</u> <u>0,6...4,1</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	XCIII (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	XCIV (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	XCIV (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	XCVI (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУП)	Брутто- формула	$D, \text{ кг/м}^3$	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P, \text{ атм}$	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кп}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	XC VII (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	XC VIII (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	XC IX (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	C (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CI (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CI I (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	CI II (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	CI V (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>866</u> <u>861</u>	<u>563</u> <u>565</u> <u>561</u>	<u>726</u> <u>732</u> <u>731</u>	<u>403</u> <u>404*</u> <u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,0</u> <u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>14,0</u> <u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CH_3CH_2	CV (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>853</u> <u>861</u>	<u>565</u> <u>561</u>	<u>732</u> <u>731</u>	<u>>386</u> <u>399</u> <u>399</u>		<u>432</u> <u>425</u>	<u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>53,2</u>	<u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>15,1</u> <u>14,6</u>	<u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CH_3	CV I (15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}_2$	<u>867</u> <u>855</u> <u>861</u>	<u>570</u> <u>596</u> <u>565</u> <u>561</u>	<u>741</u> <u>732</u> <u>731</u>	<u>>385</u> 385 427 <u>409*</u> <u>399</u> <u>399</u>	<u>597</u> <u>498</u>	<u>432</u> <u>425</u>	<u>385...456</u> <u>388...</u> <u>393...444</u>	<u>86,6</u> <u>53,2</u>	<u>8806,0</u> <u>8771,4</u> <u>8771,4</u>	<u>14,0</u> <u>15,1</u> <u>14,6</u>	0,1...3,4 <u>0,5...</u> <u>0,5...4,0</u> <u>0,5...3,7</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	CV II (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>		<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CV III (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>		<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>

CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CIX (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CX (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	CXI (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	CXII (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	CXIII (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	CXIV (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>855</u> <u>859</u> <u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>412</u> <u>>386</u> <u>415*</u> <u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,6</u> <u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	CXV (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CXVI (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CXVII (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	CXVIII (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>855</u> <u>862</u>	<u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>386</u> <u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...</u> <u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	CXIX (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>862</u>	<u>580</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CH_3CH_2	CXX (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>860</u> <u>857</u> <u>862</u>	<u>452</u> <u>568</u> <u>580</u> <u>582</u>	<u>745</u> <u>746</u>	<u>385</u> <u>408</u> <u>408*</u> <u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CH_3	CXXI (16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	<u>865</u> <u>862</u> <u>862</u>	<u>582</u> <u>580</u> <u>582</u>	<u>738</u> <u>745</u> <u>746</u>	<u>382</u> <u>>386</u> <u>416*</u> <u>406</u> <u>422</u>	<u>446</u> <u>448</u>	<u>398...</u> <u>399...467</u>	<u>55,0</u> <u>54,5</u>	<u>9377,6</u> <u>9380,5</u>	<u>13,1</u> <u>14,3</u> <u>13,5</u>	<u>0,5...3,9</u> <u>0,5...3,5</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУП)	Брутто- формула	D , кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		P , атм	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	CXXXII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	CXXXIII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CXXXIV (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CXXXV (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CXXXVI (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	CXXXVII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	CXXXVIII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	CXXXIX (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	CXXX (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	414 423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	CXXXI (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CXXXII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CXXXIII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	CXXXIV (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	CXXXV (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	<u>862</u>	594 595	757 754	423		460 455	407... 413...478	56,1	9983,8 9983,8	13,6 13,0	0,4...3,7 0,4...3,7

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CH_3CH_2	CXXXVI (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	859 <u>862</u>	594 <u>595</u>	757 <u>754</u>	423 <u>423</u>		460 <u>455</u>	407... <u>413...478</u>	56,1 <u>56,1</u>	9983,8 <u>9983,8</u>	13,6 <u>13,0</u>	0,4...3,7 <u>0,4...3,7</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	CH_3	CXXXVII (17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	880 852 <u>862</u>	598 690 594 <u>595</u>	762 753 757 <u>754</u>	436 425 386 443 426* <u>423</u>	588 593	460 <u>455</u>	386...478 407... <u>413...478</u>	96,5 <u>56,1</u>	9955,0 9983,8 <u>9983,8</u>	12,2 13,7 13,6 <u>13,0</u>	0,03...3,2 <u>0,4...3,7</u> <u>0,4...3,7</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	CXXXVIII (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	420 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	CXXXIX (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	CXL (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CXLI (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CXLII (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CXLIII (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	CXLIV (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	CXLV (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	CXLVI (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	CXLVII (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	CXLVIII (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CXLIX (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CL (18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	863 <u>863</u>	607 <u>609</u>	768 <u>770</u>	435 <u>435</u>		473 <u>482</u>	416... <u>420...489</u>	57,6 <u>57,6</u>	10590,0 <u>10562,5</u>	12,9 <u>11,8</u>	0,4...3,6 <u>0,4...3,6</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУП)	Брутто- формула	D , кг/м ³	Температура, К						Теплота, кДж/моль		P , атм	КПВ, % (об.)
					$T_{кип}$	$T_{кр}$	$T_{всп}$	$T_{свс}$	$T_{вос}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$CH_3(CH_2)_{12}$	$CH_3(CH_2)_3$	CLI (18)	$C_{18}H_{36}O_2$	<u>863</u>	<u>607</u> <u>609</u>	<u>768</u> <u>770</u>	<u>435</u>		<u>473</u> <u>482</u>	<u>416...</u> <u>420...489</u>	<u>57,6</u>	<u>10590,0</u> <u>10562,5</u>	<u>12,9</u> <u>11,8</u>	<u>0,4...3,6</u> <u>0,4...3,6</u>
$CH_3(CH_2)_{13}$	$CH_3(CH_2)_2$	CLII (18)	$C_{18}H_{36}O_2$	<u>863</u>	<u>607</u> <u>609</u>	<u>768</u> <u>770</u>	<u>435</u>		<u>473</u> <u>482</u>	<u>416...</u> <u>420...489</u>	<u>57,6</u>	<u>10590,0</u> <u>10562,5</u>	<u>12,9</u> <u>11,8</u>	<u>0,4...3,6</u> <u>0,4...3,6</u>
$CH_3(CH_2)_{14}$	CH_3CH_2	CLIII (18)	$C_{18}H_{36}O_2$	<u>883</u> <u>857</u> <u>858</u> <u>863</u>	<u>615</u> <u>607</u> <u>609</u>	<u>768</u> <u>770</u>	<u>425</u> >386 <u>448</u> <u>443</u> <u>437*</u> <u>435</u>	<u>603</u> <u>503</u>	<u>463</u> <u>473</u> <u>482</u>	<u>416...</u> <u>420...489</u>	<u>56,6</u> <u>57,6</u>	<u>10590,0</u> <u>10562,5</u>	<u>12,9</u> <u>11,8</u>	<u>0,4...3,6</u> <u>0,4...3,6</u>
$CH_3(CH_2)_{15}$	CH_3	CLIV (18)	$C_{18}H_{36}O_2$	<u>864</u> <u>863</u>	<u>610</u> <u>607</u> <u>609</u>	<u>768</u> <u>770</u>	<u>434</u> >383 <u>434*</u> <u>435</u>		<u>473</u> <u>482</u>	<u>416...</u> <u>420...489</u>	<u>58,0</u> <u>57,6</u>	<u>10590,0</u> <u>10562,5</u>	<u>12,9</u> <u>11,8</u>	<u>0,4...3,6</u> <u>0,4...3,6</u>
H	$CH_3(CH_2)_{17}$	CLV (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
CH_3	$CH_3(CH_2)_{16}$	CLVI (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
CH_3CH_2	$CH_3(CH_2)_{15}$	CLVII (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$CH_3(CH_2)_2$	$CH_3(CH_2)_{14}$	CLVIII (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$CH_3(CH_2)_3$	$CH_3(CH_2)_{13}$	CLIX (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$CH_3(CH_2)_4$	$CH_3(CH_2)_{12}$	CLX (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$CH_3(CH_2)_5$	$CH_3(CH_2)_{11}$	CLXII (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$CH_3(CH_2)_6$	$CH_3(CH_2)_{10}$	CLXIII (19)	$C_{19}H_{38}O_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>870</u>	<u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>863</u> <u>870</u>	<u>622</u> <u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>440</u> <u>441*</u> <u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>59,3</u> <u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	CH_3CH_2	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>863</u> <u>870</u>	<u>611</u> <u>620</u> <u>625</u>	<u>778</u> <u>776</u>	<u>428</u> <u>434*</u> <u>436</u>		<u>487</u> <u>482</u>	<u>424...</u> <u>426...</u>	<u>58,1</u> <u>58,4</u>	<u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	CH_3	$\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$	<u>1007</u> <u>870</u>	<u>624</u> <u>628</u> <u>620</u> <u>625</u>	<u>781</u> <u>778</u> <u>776</u>	<u>455</u> <u>426</u> <u>383</u> <u>443*</u> <u>445*</u> <u>436</u>	<u>582</u>	<u>487</u> <u>482</u>	<u>426...499</u> <u>424...</u> <u>426...</u>	<u>60,1</u> <u>58,4</u>	<u>11170,0</u> <u>11196,2</u> <u>11196,2</u>	<u>10,7</u> <u>12,3</u> <u>11,5</u>	<u>0,10...3,0</u> <u>0,4...</u> <u>0,4...3,4</u> <u>0,4...3,4</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>862</u> <u>863</u>	<u>617</u> <u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>429</u> <u>438*</u> <u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>58,9</u> <u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>

Продолжение табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУЦ)	Брутто- формула	$D, \text{ кг/м}^3$	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{\text{к}}, \text{ атм}$	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кп}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	CLXXV (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CLXXIX (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CLXXX (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CLXXXI (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	CLXXXII (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	CLXXXIII (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	CLXXXIV (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	CLXXXV (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	CLXXXVI (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CLXXXVII (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CLXXXVIII (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	CLXXXIX (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	CXC (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	<u>863</u>	<u>631</u> <u>634</u>	<u>787</u> <u>782</u>	<u>446</u>		<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	<u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	CH_3CH_2	CXCI (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	897 1057 <u>863</u>	638 <u>631</u> <u>634</u>	787 <u>782</u>	441 386 443 451* <u>446</u>	503	<u>501</u> <u>501</u>	<u>432...</u> <u>431...</u>	60,1 <u>60,7</u>	<u>11802,4</u> <u>11789,3</u>	<u>11,7</u> <u>10,9</u>	<u>0,4...3,3</u> <u>0,4...3,3</u>

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}$	CH_3	CXCH (20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	$\frac{862}{863}$	636 $\frac{631}{634}$	$\frac{783}{787}$ $\frac{782}{782}$	386 >386 450* <u>446</u>		$\frac{501}{501}$	$\frac{432...}{431...}$	60,9 $\frac{60,7}{60,7}$	$\frac{11802,4}{11789,3}$	$\frac{10,1}{11,7}$ $\frac{10,9}{10,9}$	$\frac{0,4...3,3}{0,4...3,3}$
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{19}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	CXCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	CC (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	CCI (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	CC (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	CCCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	CCCH (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	CCV (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	CCV (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	CCV (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	$\frac{867}{867}$	642	$\frac{795}{773}$	<u>445</u>		$\frac{514}{514}$	$\frac{440...}{439...}$		$\frac{12408,6}{12480,3}$	$\frac{11,2}{10,6}$	$\frac{0,3...3,2}{0,3...3,3}$

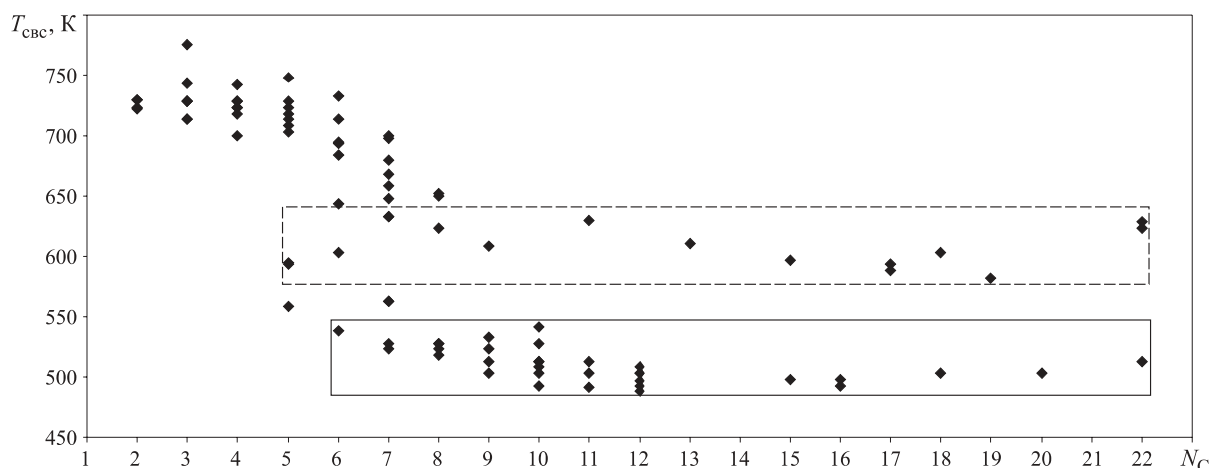
Окончание табл. 1

R^1	R^2	Номер кислоты (ОУЦ)	Брутто- формула	$D, \text{ кг/м}^3$	Температура, К						Теплота, кДж/моль		$P_{\text{к}}, \text{ атм}$	КПВ, % (об.)
					$T_{\text{кпл}}$	$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$T_{\text{вос}}$	ТПВ	парообра- зования	горения		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	ССVIII (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	<u>867</u>	642	<u>795</u> <u>773</u>	<u>445</u>		<u>514</u> <u>514</u>	<u>440...</u> <u>439...</u>		<u>12408,6</u> <u>12480,3</u>	<u>11,2</u> <u>10,6</u>	<u>0,3...3,2</u> <u>0,3...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	ССIX (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	<u>867</u>	642	<u>795</u> <u>773</u>	<u>445</u>		<u>514</u> <u>514</u>	<u>440...</u> <u>439...</u>		<u>12408,6</u> <u>12480,3</u>	<u>11,2</u>	<u>0,3...3,2</u> <u>0,3...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}$	CH_3CH_2	ССX (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	<u>867</u>	642	<u>795</u> <u>773</u>	<u>445</u>		<u>514</u> <u>514</u>	<u>440...</u> <u>439...</u>		<u>12408,6</u> <u>12480,3</u>	<u>11,2</u> <u>10,6</u>	<u>0,3...3,2</u> <u>0,3...3,3</u>
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}$	CH_3	ССXI (21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	<u>862</u> <u>867</u>	648 642	<u>795</u> <u>773</u>	<u>457</u> <u>>386</u> <u>458*</u> <u>445</u>		<u>514</u> <u>514</u>	<u>440...</u> <u>439...</u>	62,3	<u>12408,6</u> <u>12480,3</u>	<u>11,2</u> <u>10,6</u>	<u>0,3...3,2</u> <u>0,3...3,3</u>
H	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}$	ССXII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
CH_3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{19}$	ССXIII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
CH_3CH_2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}$	ССXIV (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}$	ССXV (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	ССXVI (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	ССXVII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	ССXVIII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	ССXIX (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	ССXX (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	ССXXI (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	ССXXII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9$	ССXXIII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652			460*		528	447...	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8$	ССXXIV (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652			460*		528	447...	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7$	ССXXV (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652			460*		528	447...	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6$	ССXXVI (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652			460*		528	447...	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5$	ССXXVII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652			460*		528	447...	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$	ССXXVIII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652			460*		528	447...	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3$	ССXXIX (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$	854 861 856	623 493 641 652		433 463 442* 453*	623 628 513	469 528	446...508 447...	97,13	13158,2 13014,8	11,0 10,7	0,3...4,2 0,3...2,3 0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2$	ССXXX (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}$	CH_3CH_2	ССXXXI (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$	861	568 652		444 408*		528	447...	61,6	13014,8	10,7	0,3...3,1
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{19}$	CH_3	ССXXXII (22)	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$		652		460*		528	447...		13014,8	10,7	0,3...3,1

Примечания:

1. ОУЦ — основная углеродная цепь, равная для линейных сложных эфиров числу атомов углерода в молекуле.
2. Для интервалов температур приведены их среднеарифметические значения.
3. Выделенные жирным шрифтом значения показателей физико-химических и пожароопасных свойств соединений не учитывались при выводе уравнений (1)–(12).
4. Значения, выделенные жирным шрифтом с подчеркиванием, относятся к высшей теплоте сгорания.
5. Курсивом приведен прогноз по уравнениям (2)–(12); курсивом с подчеркиванием — по правилу углеродной цепи; курсивом со звездочкой — расчет по уравнению (1).



Зависимость температуры самовоспламенения от числа атомов углерода в молекуле

Таблица 2. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств сложных эфиров

Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
Температура кипения, К	$T_{\text{кип}} = -0,379N_C^2 + 26,448N_C + 254$	2	0,9953	$2 \leq N_C \leq 22$
Критическая температура, К	$T_{\text{кр}} = -0,46N_C^2 + 27,03N_C + 430,1$	3	0,9942	$2 \leq N_C \leq 20$
Температура вспышки, К	$T_{\text{всп}} = -0,3107N_C^2 + 17,475N_C + 206,4$	4	0,9853	$2 \leq N_C \leq 16$
Температура воспламенения, К	$T_{\text{вос}} = 13,65N_C + 227,6$	5	0,9923	$2 \leq N_C \leq 21$
Нижний температурный предел воспламенения, К	$T_{\text{н}} = 13,54N_C + 215$	6	0,9919	$2 \leq N_C \leq 12$
	$T_{\text{н}} = 154,09 \ln(N_C) - 29,4$	7	0,9956	$13 \leq N_C \leq 22$
Верхний температурный предел воспламенения, К	$T_{\text{в}} = 16N_C + 236,2$	8	0,9839	$2 \leq N_C \leq 12$
Теплота сгорания, кДж/моль	$Q_{\text{сг}} = 606,2N_C - 321,6$	9	0,9989	$2 \leq N_C \leq 22$
Критическое давление, атм	$P_{\text{кр}} = -10,486 + 99,243/N_C^{0,5}$	10	0,9944	$2 \leq N_C \leq 22$
Нижний концентрационный предел воспламенения, % об.	$C_{\text{н}} = 10,472N_C^{-1,1297}$	11	0,9925	$2 \leq N_C \leq 22$
Верхний концентрационный предел воспламенения, % об.	$C_{\text{в}} = 1,16 + 43,051/N_C$	12	0,9670	$2 \leq N_C \leq 22$

атомов в молекуле N_C (табл. 2). Прогноз по уравнениям (1)–(12), приведенным в табл. 2, представлен в табл. 1.

Экспериментальные методы определения температуры самовоспламенения далеко не совершенны и не отличаются высокой воспроизводимостью (см. рисунок). Тем не менее можно говорить о том, что этот показатель пожарной опасности для сложных эфиров с числом углеродных атомов от 6 до 22 практически не зависит от длины углеводородной цепи. Фактический разброс его значений лежит в пределах экспериментальной ошибки. На рисунке отчетливо видны различия в действующих методах экспериментального определения температуры самовоспламенения.

Для сложных эфиров также удовлетворительно работает правило углеродной цепи [1–7], которое

позволяет прогнозировать физико-химические и пожароопасные свойства этого класса соединений по длине основной углеродной цепи (ОУЦ) (см. табл. 1).

Перемещение вдоль углеводородной цепи сложнэфирной группы ($-\text{CO}_2-$) несильно сказывается на изменении физико-химических и пожароопасных свойств. Таким образом, найденное ранее свойство положения функциональной группы [1–7, 20] справедливо и для эфиров карбоновых кислот (см. табл. 1).

В заключение отметим, что найденные эмпирические уравнения (1)–(12), а также правило углеродной цепи и свойство положения функциональной группы использованы для прогнозирования неизвестных физико-химических параметров и показателей пожарной опасности в ряду алифатических сложных эфиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
2. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
3. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
4. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
5. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.
6. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
7. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
8. Chemical Database DIPPR 801 (Brigham Young University). URL : <http://www.aiche.org/dippr> (дата обращения: 13–15.03.2012 г.).
9. База данных университета Акрон (Akron). URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (дата обращения: 15–25.11.2011 г.).
10. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (дата обращения: 20–25.10.2011 г.).
11. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
12. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. 2. — 774 с.
13. Шебеко Ю. Н., Навяцкая В. Ю., Копылов С. Н. и др. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов : руководство — М. : ВНИИПО, 2002 — 77 с.
14. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001.
15. Korolchenko A. Ya., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lantikhova L. V. Calculating the Flash Point of Inflammable Liquids // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. — 1969. — Vol. 5, No. 8. — P. 556–558. (Химия и технология топлив и масел. — 1969. — № 8. — С. 16–18).
16. Стоянович И. О., Саушев В. С., Ле Суан Ты. Расчетные методы определения температуры вспышки индивидуальных жидкостей в закрытом тигле. URL : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/14-02-07.ttb.pdf> (дата обращения: 02.05.2010 г.).
17. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Описание и прогнозирование температуры вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно-группового метода // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 15–18.
18. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Использование аддитивно-группового метода для расчета температуры вспышки спиртов, кетонов и сложных эфиров // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2010. — № 1 (9). URL : <http://www.edufire37.ru/contact/vestnik> (дата обращения: 21.04.2012 г.).
19. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Additive Group Techniques for Calculating the Flash Point of Alcohols, Ketones and Esters // Russian Journal of Applied Chemistry. — 2011. — Vol. 84, No. 1. — P. 54–59. (Журнал прикладной химии. — 2011. — Т. 84, № 1. — С. 55–60).
20. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Показатели пожарной опасности и эффект положения функциональной группы // Безопасность критических инфраструктур и территорий : матер. IV Всерос. конф. и XIV школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. — С. 80–81.

Материал поступил в редакцию 1 мая 2012 г.

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. VIII. ESTERS (PART 1)

ALEXEEV Sergey Gennadyevich, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WACCS, Expert of OOO PROMET (PROMET Ltd.), Senior Research Assistant of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg 620062, Russian Federation; e-mail address: Alexshome@mail.ru)

ALEXEEV Kirill Sergeyevich, Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54-a, Yekaterinburg 620049, Russian Federation; e-mail address: paradox2405@mail.ru)

BARBIN Nikolay Mikhaylovich, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Head of Department of the Urals State Agricultural Academy, Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@yandex.ru)

ABSTRACT

The correlation of chemical structure and fire-dangerous properties is studied among aliphatic esters of a normal structure. The carbon rule well works for $R'CO_2R''$. It is allowed to predict their physicochemical and fire-dangerous indices. Travel of the ester group along an hydrocarbon chain practically does not lead to change of the physicochemical and fire-dangerous properties of esters. The empirical equations of calculation are offered for:

- critical temperature: $T_c (K) = -0,46N_C^2 + 27,03N_C + 430,1 (N_C < 21)$;
- boiling point: $T_b (K) = -0,379N_C^2 + 26,448N_C + 254 (N_C < 23)$;
- flash point: $FP (K) = -0,3107N_C^2 + 17,475N_C + 206,4 (N_C < 17)$;
- fire (ignition) temperature: $FT (K) = 13,65N_C + 227,6 (N_C < 22)$;
- low and upper temperature explosive limits: $LTEL (K) = 13,65N_C + 227,6 (N_C \leq 12)$;
 $LTEL (K) = 154,09 \ln(N_C) - 29,4 (N_C > 12)$; $UTEL = 16N_C + 236,2 (N_C \leq 12)$;
- low and upper explosive limits: $LEL (\%) = 10,472N_C^{-1,1297} (N_C < 23)$;
 $UEL (\%) = 1,16 + 43,051/N_C (N_C < 23)$;
- combustion heat: $Q (kJ/mole) = 606,2N_C - 321,6 (N_C < 23)$;
- critical pressure: $P_c (atm) = -10,486 + 99,243/N_C^{0,5} (N_C < 23)$

from number of atoms of carbon (N_C) in an ester molecule. In the modified Ormandy–Craven's formula the values of coefficients a (0,627) and b (50,4) are improved for this number of organic compounds.

Keywords: ester, rule, property, fire hazard, characteristic.

REFERENCES

- Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. I. Alkanoly [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. I. Alcohols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 18 December 2012).
- Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 18 December 2012).
- Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 18 December 2012).
- Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. IV. Prostye efiry [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 18 December 2012).

5. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. V. Karbonovyе kisloty [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 18 December 2012).
6. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 18 December 2012).
7. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
8. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr/> (Accessed 15–25 November 2011).
9. Akron University database. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (Accessed 15–25 November 2011).
10. Sigma-Aldrich database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 20–25 October 2011).
11. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 1. 713 p.
12. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 2. 774 p.
13. Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kopylov S. N. et al. *Raschet osnovnykh pokazateley pozharovryvoopasnosti veshchestv i materialov. Rukovodstvo* [Calculation of main fire and explosive hazard indices of compounds and materials. Manual]. Moscow, VNIPO Publ., 2002. 77 p.
14. GOST 12.1.044–89*. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya* [State Standard 12.1.044–89* [Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination]. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2001.
15. Korolchenko A. Ya., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lantikhova L. V. Calculating the Flash Point of Inflammable Liquids. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1969, vol. 5, no. 8, pp. 556–558.
16. Stoyanovich I. O., Saushev V. S., Le Suan Ty. *Raschetnyye metody opredeleniya temperatury vspyshki individualnykh zhidkostey v zakrytom tigle* [Prediction of a flash point of individual fluids in a closed cup]. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/14-02-07.ttb.pdf> (Accessed 2 May 2010).
17. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Opisanie i prognozirovaniye temperatury vspyshki slozhnykh efirov v ramkakh additivno-grupпового metoda [Description and prediction of a flash point of esters within the limits of the additive-group method]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire & Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 15–18.
18. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Ispolzovaniye additivno-grupпового metoda dlya rascheta temperatury vspyshki spirtov, ketonov i slozhnykh efirov [Application of the additive-group method for calculation of flash point of alcohols, ketones and esters]. *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Ivanovo Institute of State Fire Service of Emercom of Russia*. 2010, no. 1 (9). Available at: <http://www.edufire37.ru/contact/vestnik> (Accessed 21 April 2012).
19. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Additive Group Techniques for Calculating the Flash Point of Alcohols, Ketones and Esters. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2011, vol. 84, no. 1, pp. 54–59.
20. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Pokazateli pozharной opasnosti i effekt polozheniya funktsionalnoy gruppy [Indices of fire hazard and the effect of a functional group]. *Bezopasnost kritichnykh infrastruktur i territoriy: mater. IV Vseros. konf. i XIV shkoly molodykh uchenykh* [Proc. IV All Russian conf. and XIV School of young scientists “Safety of critical infrastructures and territories”]. Yekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences Publ., 2011. pp. 80–81.

О. Н. ТРИФОНОВА, канд. хим. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: rise27@yandex.ru)

УДК 614.841.332:624.0124

ОПТИМИЗАЦИЯ ОГНЕЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены пенообразующие свойства огнезащитных вспенивающихся композиций на базе водно-дисперсионных материалов (ВДМ). Представлены результаты испытаний на огнестойкость стальных образцов, защищенных огнезащитными составами, а также данные по влагопроницаемости и эксплуатационные свойства огнезащитных композиций. Установлено, что углекислый аммоний, сульфокислый кальций и хлорид аммония перспективны как присадки к составу ВДМ, используемому для огнезащиты металлических конструкций.

Ключевые слова: огнезащита; вспенивающиеся огнезащитные покрытия; огнестойкость; металлические конструкции.

Металл является наиболее широко применяемым материалом, особенно в строительстве. Наряду с достоинствами (способность к пластической деформации, прочность, жесткость, распространенность в природе, надежность), выгодно отличающими его от других материалов, при пожаре металл деформируется, теряет устойчивость и несущую способность, что может вызвать обрушение конструкций.

Металл — негорючий материал (однако порошки некоторых металлов являются горючими и взрывоопасными), но, как и все другие материалы, используемые в строительстве, не может в течение длительного времени выдерживать воздействие высоких температур, возникающих внутри здания при пожаре [1]. В условиях пожара температура открытого пламени может достигать 500 °С. При этом металлическая конструкция теряет свою прочность в течение 0,1–0,4 ч, что приводит к ее разрушению.

Для защиты металлоконструкций от воздействия повышенных температур часто применяют вспучивающиеся покрытия [2]. В связи с этим были исследованы композиты на основе водно-дисперсионных материалов (ВДМ) с улучшенным комплексом свойств, который достигается подбором компонентов вспучивающейся системы и проявлением ими синергического эффекта при контакте с фронтом пламени.

В качестве наполнителей в рецептуре использовали:

- углекислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ — вещество в виде бесцветных кристаллов. Хорошо растворим в воде. Крайне неустойчив не только на воздухе, но и в растворе, так как уже при комнатной температуре выделяет аммиак, превращаясь в бикарбонат аммония NH_4HCO_3 . При 60 °С быстро распадается на NH_3 , CO_2 и H_2O ;

- сульфокислый гидратированный кальций $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — минерал, очень медленно присоединяющий воду. Растворим в воде, но растворимость падает с повышением температуры. Позволяет повысить термостойкость и химическую стойкость покрытия, улучшить его огнестойкие характеристики;
- хлорид аммония NH_4Cl (техническое название *нашатырь*) — соль, бесцветный кристаллический порошок плотностью 1526 кг/м³. При нагревании до 338 °С полностью распадается на NH_3 и HCl . Хорошо растворим в воде (37,2 г в 100 г H_2O при 20 °С); раствор имеет слабокислую реакцию.

В качестве основы использован состав ВДМ — однокомпонентная вспенивающаяся водно-дисперсионная композиция, предназначенная для повышения огнестойкости металлических и железобетонных конструкций. ВДМ обеспечивает 4-ю группу огнезащитной эффективности с приведенной толщиной более 3,4 мм при толщине сухого слоя 1,8 мм [3]. Огнезащитный состав ВДМ не содержит органических растворителей, нетоксичен, пожаровзрывобезопасен.

Оценка эффективности огнезащитных составов проводилась на стальных образцах из углеродистой стали марки Ст3 на испытательном оборудовании по ГОСТ 30247.0–94 “Методы испытаний на огнестойкость” путем определения времени с момента начала теплового воздействия до достижения предельной температуры 500 °С на необогреваемой поверхности образца металлической пластины [4, 5]. Для некоторых распространенных марок углеродистых и низколегированных сталей она примерно соответствует температуре, при которой происходит потеря

прочности или устойчивости, т. е. наступает предел огнестойкости металлоконструкций.

Результаты исследований образцов без огнезащиты и с покрытием на базе ВДМ без добавок и с добавкой углекислого аммония представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что по сравнению с составом ВДМ предложенное покрытие (ВДМ + 30 % масс. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) обеспечивает лучшую защиту металлоконструкций в условиях воздействия высоких температур. Основной огнезащитный эффект достигается в результате превращения тонкого адсорбционного слоя антипирена в высокопористый теплоизолирующий слой. Процесс сопровождается интенсивным газовыделением негорючих низкомолекулярных соединений — преимущественно диоксида углерода и воды, что усиливает вспенивание и тем самым снижает коэффициент теплопередачи нанесенного покрытия.

При замене добавки углекислого аммония на сульфокислый гидратированный кальций в испытаниях наблюдался эффект, аналогичный эффекту, полученному при испытании покрытия на основе ВДМ + 30 % масс. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, т. е. покрытие ВДМ + 20 % масс. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обеспечивает хорошую защиту в условиях воздействия высоких температур (рис. 2).

Испытания покрытий с добавкой хлорида аммония показали, что они обеспечивают защиту стальных образцов в условиях высоких температур (рис. 3).

Особое внимание заслуживает оценка пенообразующих свойств огнезащитных композиций [6].

Исследования показали, что огнезащитное покрытие на основе ВДМ + 10 % масс. углекислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ загоралось на 15-й минуте, интенсивно вспенивалось и стекало с поверхности образца, почти полностью оголив его на 27-й минуте. Увеличение содержания углекислого аммония до 30 % масс. исключало загорание и позволило получить равномерное вспенивание с незначительным сползанием сверху (рис. 4,а). При замене углекислого аммония на сульфокислый гидратированный кальций $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ покрытие вспучивалось, не стекало с поверхности образца, но стягивалось, оголяя его углы, что приводило к быстрому прогреву образца. Увеличение концентрации сульфокислого кальция до 20 % масс. исключало стягивание, но приводило к растрескиванию покрытия в процессе испытания (рис. 4,б). При использовании в качестве добавки хлорида аммония (NH_4Cl) в количестве 10 % масс. после 10 мин испытаний вспенивающийся слой начинал стягиваться к центру и выгорать, так что к 25-й минуте металл полностью освободился от покрытия. Однако увеличение его концентрации до 30 % масс. позволило получить равномерное вспенивание и исключить горение покрытия (рис. 4,в).

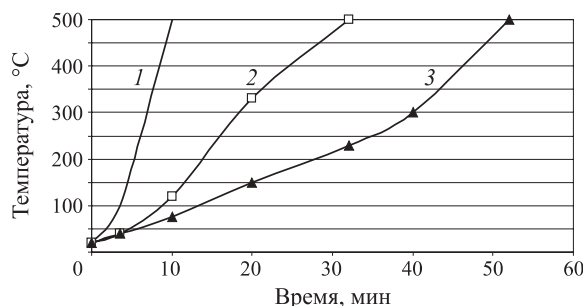


Рис. 1. График прогрева стальных образцов: 1 — без огнезащитного покрытия; 2 — с покрытием ВДМ; 3 — с покрытием ВДМ + 30 % масс. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

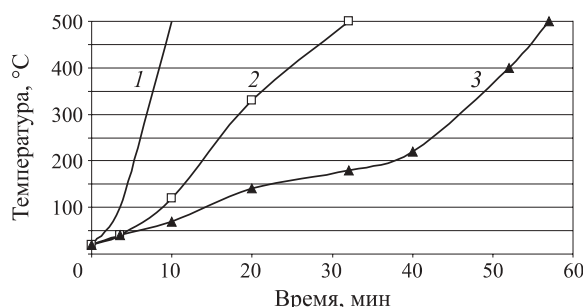


Рис. 2. График прогрева стальных образцов: 1 — без огнезащитного покрытия; 2 — с покрытием ВДМ; 3 — с покрытием ВДМ + 20 % масс. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

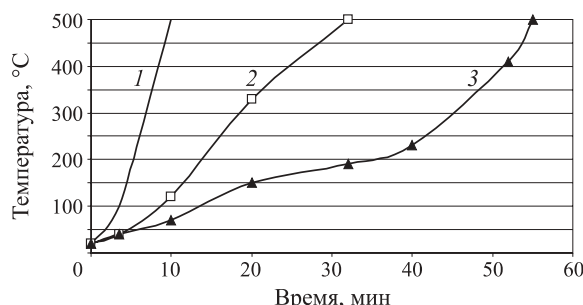


Рис. 3. График прогрева стальных образцов: 1 — без огнезащитного покрытия; 2 — с покрытием ВДМ; 3 — с покрытием ВДМ + 30 % масс. NH_4Cl

Влагопроницаемость защитных составов — существенный показатель, характеризующий защитные составы на основе ВДМ [7], но достаточно спорный.

Изучение кинетики массопереноса воды через барьерную пленку огнезащитных композиций проводили в герметичных эксикаторах, относительная влажность воздуха (70; 80; 90 и 100 %) в которых обеспечивалась использованием дистиллированной воды. В эксикаторы помещали бюксы, заполненные влагопоглотителем P_2O_5 , имеющим одинаковую массу в параллельных опытах, и закрытые притертыми перфорированными крышками. На каждую крышку наносили барьерный слой огнезащитной композиции, толщину которого контролировали гравиметрически. Через 1; 2; 4 и 6 ч по разнице масс бюксов с влагопоглотителем до и после опыта оце-

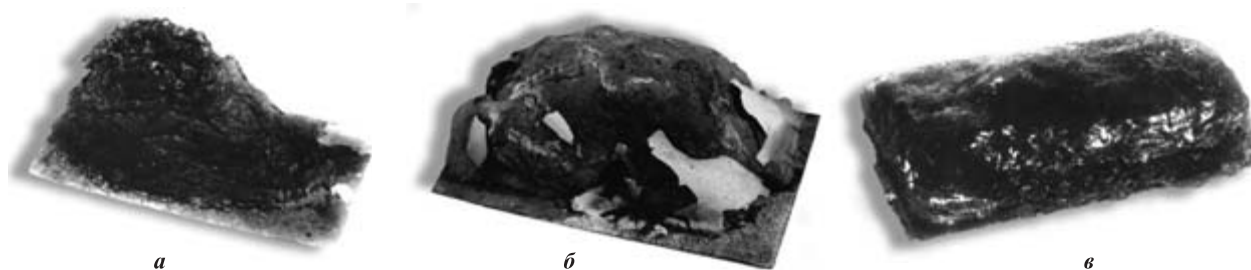


Рис. 4. Вспучивающееся покрытие на основе ВДМ с добавкой: а — $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (30 % масс.); б — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (20 % масс.); в — NH_4Cl (30 % масс.)

нивали количество поглощенной воды, прошедшей через барьерный слой. При этом учитывали наличие в бьюксах влаги из воздуха до опыта, массу которой рассчитывали по формуле

$$m = P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{ист}} V M_{\text{H}_2\text{O}} / (RT),$$

где $P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{ист}}$ — истинное давление паров, Па, при температуре помещения T , где проводился эксперимент, К;

V — объем ячейки, л;

$M_{\text{H}_2\text{O}}$ — молярная масса воды, моль/г;

R — универсальная газовая постоянная,

Дж/(моль·К).

В таблице приведены значения коэффициента торможения массопереноса воды Z через барьерный слой как функции концентрации углекислого аммония, сульфокислого кальция и хлорида аммония в ВДМ в зависимости от продолжительности процесса и концентрации присадок. Коэффициент Z рассчитывали по формуле

$$Z = (m_{0,i} - m_i) / m_{0,i} \cdot 100,$$

где $m_{0,i}$ и m_i — масса воды, поглощенная P_2O_5 за i -й промежуток времени соответственно в отсутствие барьерного слоя и при наличии его.

Эксплуатационные свойства покрытия, нанесенного на стальные образцы, проверялись по методу ускоренного старения. В результате испытаний было установлено, что время прогрева образца за счет снижения вспенивающей способности сократилось до 30 мин для композиции с углекислым аммонием, и наблюдалось возгорание покрытия (рис. 5).

При замене углекислого аммония на сульфокислый кальций в композиции время прогрева сократилось так же, как и в случае с композицией на основе ВДМ и углекислого аммония, за счет снижения ее способности к вспениванию до 28 мин (см. рис. 5).

Испытания композиции на основе ВДМ с хлоридом аммония показали, что данный состав также не отличался достаточным вспениванием, что сократило время прогрева до 37 мин (см. рис. 5).

Снижение способности покрытия к вспучиванию можно объяснить перераспределением водорастворимого компонента в структуре покрытия [8].

Значения коэффициента торможения Z (%) массопереноса через барьерный слой в зависимости от концентраций присадок в композиции с ВДМ

Присадка	Содержание присадки, % масс.	Значение Z , %, через интервал времени от начала эксперимента, ч			
		1	2	3	4
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	0	53	50	46	45
	10	59	51	49	48
	20	66	61	58	53
	30	72	70	69	61
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0	53	50	46	45
	10	59	51	49	48
	20	66	61	58	53
	30	72	70	69	61
NH_4Cl	0	58	53	51	49
	10	67	56	56	53
	20	79	65	65	61
	30	82	79	76	72

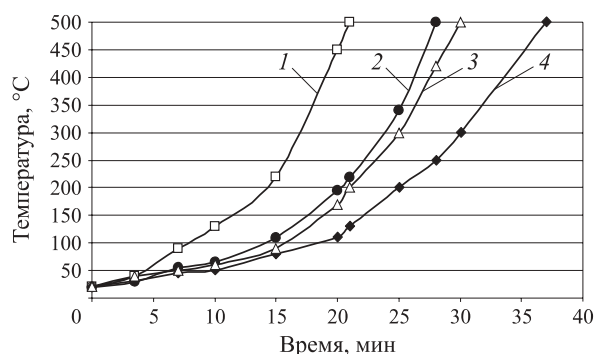


Рис. 5. График прогрева стальных образцов с огнезащитным покрытием при испытании по методу ускоренного старения: 1 — ВДМ; 2 — ВДМ + 20 % масс. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 3 — ВДМ + 30 % масс. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$; 4 — ВДМ + 30 % масс. NH_4Cl

В результате исследований различных огнезащитных композиций было установлено, что оптимизация их эксплуатационных характеристик может быть достигнута при наличии в составе ингредиентов, взятых в определенном соотношении. Так, защитная эффективность покрытия на основе ВДМ

возрастает по мере увеличения концентраций присадок углекислого аммония и хлорида аммония. Оптимальное огнезащитное действие показывают составы, содержащие 20–30 % масс. углекислого аммония или хлорида аммония либо 10–20 % масс. сульфокислого кальция.

Композиции на базе ВДМ и углекислого аммония легко вспениваются и, как следствие, обладают хорошей огнезащитной способностью. Вспучиванию составов с хлоридом аммония и ВДМ способствует увеличение концентрации присадок. Отверждение протекает достаточно быстро за счет формирования различных по природе структур, обладающих неодинаковой термической устойчивостью и склонностью к вспучиванию при огневом воздействии.

Массоперенос воды через барьерный слой при 100 %-ной относительной влажности воздуха существенно замедляется при увеличении концентраций углекислого аммония, сульфокислого кальция и хлорида аммония в составе ВДМ. Снижение относительной влажности воздуха до 70 % в большинстве случаев качественно не изменяет характер этой зависимости. Эффект торможения массопереноса воды (после 4 ч опыта) наблюдается для компози-

ций с содержанием (% масс.): углекислого аммония — 30 и ВДМ — 61; сульфокислого кальция — 20 и ВДМ — 49; хлорида аммония — 30 и ВДМ — 72.

При оценке эксплуатационных свойств по методу ускоренного старения, при котором огнезащитное покрытие попеременно подвергается испытанию при воздействии повышенной температуры, при 100 %-ной относительной влажности воздуха и комнатных условиях, было установлено, что время прогрева образца, обработанного композицией с углекислым аммонием и ВДМ, за счет снижения способности к вспучиванию сократилось до 30 мин. Замена присадки на сульфокислый кальций не изменило картины. При добавке хлорида аммония время прогрева образца за счет снижения способности к вспучиванию сократилось до 37 мин. Снижение способности покрытия к вспучиванию можно объяснить перераспределением водорастворимого компонента в структуре покрытия.

Таким образом, показано, что углекислый аммоний, сульфокислый кальций и хлорид аммония перспективны как присадки к составу ВДМ, используемому в качестве огнезащиты металлических конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов В. Л., Крутов А. М., Давыдкин П. Ф. Огнезащита строительных конструкций. — Т. 2. — М. : Информ. изд-во “Центр”, 2000. — 435 с.
2. Халтуринский Н. А., Крупкин В. Г. О механизме образования огнезащитных вспучивающихся покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 10. — С. 33–36.
3. Корольченко А. Я., Корольченко О. Н. Средства огнезащиты : справочник. — М. : Пожнаука, 2006. — 258 с.
4. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009.
5. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.96 г. — М. : Изд-во стандартов, 1996.
6. Шукин Е. Д., Петров А. В. и др. Коллоидная химия. — М. : Высшая школа, 2004. — 445 с.
7. Сидоров В. И. Химия в строительстве. — М. : Асс. строительных вузов, 2007. — 310 с.
8. Романенков И. Г., Левитес Ф. А. Огнезащита строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1991. — 19 с.

Материал поступил в редакцию 12 октября 2012 г.

English

OPTIMIZATION OF FIRE RETARDANCE FOR METAL STRUCTURES

TRIFONOVA Oksana Nikolayevna, Cand. of Chemistry, Associate Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation; e-mail address: rise27@yandex.ru)

ABSTRACT

The present study investigates foaming properties of fire-proof foam compositions based on water-dispersive materials. As the research showed, flame retardant coat based on ammonium carbonate $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (30 % of mass) and water-dispersive materials eliminated fire and produced

uniform frothing with a slight crawling on the top. When ammonium carbonate was substituted by calcium sulfate dihydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ the coat blistered, did not flow from the surface of a sample but contracted exposing its edges, as a result the sample warmed up quickly. The concentration increase of calcium sulfate dihydrate to 20 % of mass eliminated contraction but led to splitting of the coat during the test. Ammonium chloride used as an additive with a concentration of 30 % of mass produced uniform frothing and eliminated combustion of the coat.

The paper provides the findings on fire resistance of the steel samples protected with the flame retardants. The evaluation of the flame retardants efficiency was made on the steel samples and test equipment according to the state standard specification 30247.0–94 “Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements”. It included time estimation from the beginning of the thermal action till the moment when the temperature on the unheated surface of the metal plate sample reached the limit point of 500 °C. For some common grades of carbon and low-alloy steel this temperature approximately coincides with the temperature at which strength reduction and buckling of fabricated metals take place, i. e. fire endurance begins. As compared with a composition of the water-dispersive materials, the offered coat (water-dispersive material + 30 % of mass. of $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) secures fabricated metals better under exposure to high temperatures. The primary fireproof effect is attained in the issue of transformation of a thin adsorption layer of the fire retardant to a highly porous heat insulating layer. The process is attended by intensive gas emission of incombustible low-molecular compounds, predominately carbon dioxide and water, which increase the foaming and thereby induce the reduction of the heat-transfer coefficient of the coat.

When the additive of ammonium carbonate was substituted by calcium sulfate dihydrate, a specific effect was observed during the test. This effect was similar to the effect attained by the testing of the coat based on the water-dispersive material + 30 % of mass of $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, i. e. the coat based on the water-dispersive material + 20 % mass. of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ provides high level of protection. The testing demonstrated that the coats with addition of ammonium chloride secure fabricated metals also reliably under exposure to high temperatures.

The current paper provides the data on moisture permeability of the flame retardants and its performance attributes.

During the research it was established that ammonium carbonate, calcium sulfate dihydrate and ammonium chloride are promising as additives to a composition of the water-dispersive materials used as the fire retardants for metal constructions.

Keywords: fire retardant; foaming flame-retardant coats; fire-resistance; metal constructions.

REFERENCES

1. Strakhov V. L., Krutov A. M., Davydkin N. F. *Ognezashchita stroitelnykh konstruktсий* [Fire retardant compositions for building constructions]. Moscow, Tsentr Publ., 2000, vol. 2. 435 p.
2. Khalturinskiy N. A., Krupkin V. G. O mekhanizme obrazovaniya ognezashchitnykh vspuchivayushchikh pokrytiy [On Mechanism of Fire Retardant Intumescent Coating Formation]. *Pozharovzryvo-bezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 10, pp. 33–36.
3. Korolchenko A. Ya., Korolchenko O. N. *Sredstva ognezashchity*. [Fire retardant compositions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2006. 258 p.
4. GOST R 53295–2009. *Sredstva ognezashchity dlya stalnykh konstruktсий. Obshchiye trebovaniya. Metod opredeleniya ognezashchitnoy effektivnosti* [State Standard 53295–2009. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency]. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 10 p.
5. GOST 30247.0–94. *Konstruktсии stroitelnyye. Metody ispytaniy na ognestoykost. Obshchiye trebovaniya* [State Standard 30247.0–94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. General requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 1994. 10 p.
6. Shchukin Ye. D., Petrov A. V. i dr. *Kolloidnaya khimiya* [Colloidal chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 445 p.
7. Sidorov V. I. *Khimiya v stroitelstve* [Chemistry in construction]. Moscow, Assotsiatsiya stroitelnykh vuzov Publ., 2007. 310 p.
8. Romanenkov I. G., Levites F. A. *Ognezashchita stroitelnykh konstruktсий* [Fire retardant compositions for building constructions]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991. 19 p.

В. А. ГОРЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

Е. Ю. САЛЫМОВА, аспирантка кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kafedrapb@yandex.ru)

УДК 691.7-413:006.354

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГАЗООБМЕНА И НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЕГО РАЗВИТИЯ

Дан расчет времени наступления критических значений опасных факторов пожара при истечении газов через проемы на разной высоте помещения. Показаны различия между временем наступления критических значений ОФП при истечении горячих и холодных газов, а также при среднеобъемном значении их параметров на примере времени наступления критической температуры и критической концентрации кислорода.

Ключевые слова: модель пожара; начальная стадия пожара; опасный фактор пожара (ОФП); газообмен; баланс масс; среднеобъемное значение; критическое значение ОФП.

Введение

Существующие нормативные документы [1] для определения времени наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП) разработаны на основании интегральной модели для начальной стадии развития пожара [2].

В работе [2] автор исходит из предположения, что на начальной стадии развития пожара из помещения истекают газы с мгновенными среднеобъемными характеристиками. Начальные значения ОФП принимаются соответствующими чистому воздуху [1].

В качестве начальных значений принимается:

- для парциальной плотности токсичных газов (CO , CO_2 , HCl) и оптической плотности дыма (μ_0) — $\rho_0^{\text{CO}} = 0$, $\rho_0^{\text{CO}_2} = 0$, $\rho_0^{\text{HCl}} = 0$, $\mu_0 = 0$;
- для парциальной плотности кислорода — $\rho_0^{\text{O}_2} = 27 \text{ кг/м}^3$, что соответствует начальной температуре в помещении $T_0 = 30^\circ \text{C}$.

Начальное значение температуры (273 К) ничем не регламентируется и берется соответствующим фактически возможному [1]:

$$t_{\text{кр}}^T = \left[\frac{B}{A} \ln \left(1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}},$$

где A — размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг/с^n ;

B — размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг ;

Z — безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения;

t_0 — начальная температура воздуха в помещении, $^\circ \text{C}$.

По нашему мнению, в качестве начальной парциальной плотности кислорода также следует брать фактически возможную, т. е. при соответствующей начальной температуре.

Место истечения газов из помещения на начальной стадии развития пожара необязательно соответствует среднеобъемным характеристикам истекающих газов. Наоборот, наиболее характерными случаями являются истечения с нижних (двери, нижние неплотности) и верхних (фонари, расположенные на крыше) уровней помещения.

Целью данной работы является оценка времени наступления критических значений ОФП при истечении газов:

- 1) с нижних уровней помещения при условии, что истекает воздух;
- 2) с верхних уровней (потолок) при условии, что истекают газы с максимальными значениями ОФП.

Параметры истекающих газов при пожаре для интегральной модели начальной стадии развития пожара в помещении регламентированы в [3] и определяются по формуле

$$\frac{\Phi_{\text{кр}} - \Phi_0}{\Phi_{\text{п.д}} - \Phi_0} = \left(\frac{y}{h} \exp \left(1,4 \frac{y}{h} \right) \right)^{-1}, \quad (1)$$

Таблица 1

Параметр ОФП	Значение параметра при высоте рабочей зоны, м					
	0	$h/8$	$h/4$	$3/8h$	$h/2$	$\geq 0,65h$
Температура T , К	T_0	$0,15\bar{T} + 0,85T_0$	$0,355\bar{T} + 0,645T_0$	$0,525\bar{T} + 0,475T_0$	$\bar{T}$	$1,615\bar{T} - 0,615T_0$
Парциальная плотность:						
• кислорода ρ^{O_2}	$\rho_0^{O_2}$	$0,15\bar{\rho}^{O_2} + 0,85\rho_0^{O_2}$	$0,355\bar{\rho}^{O_2} + 0,645\rho_0^{O_2}$	$0,525\bar{\rho}^{O_2} + 0,475\rho_0^{O_2}$	$\bar{\rho}^{O_2}$	$1,615\bar{\rho}^{O_2} + 0,615\rho_0^{O_2}$
• токсичных газов $\rho^{т.г.}$	0	$0,15\bar{\rho}^{т.г.}$	$0,355\bar{\rho}^{т.г.}$	$0,525\bar{\rho}^{т.г.}$	$\bar{\rho}^{т.г.}$	$1,615\bar{\rho}^{т.г.}$
Оптическая плотность дыма μ	0	$0,15\bar{\mu}$	$0,355\bar{\mu}$	$0,525\bar{\mu}$	$\bar{\mu}$	$1,615\bar{\mu}$

где $\Phi_{кр}$ — критическое значение среднего параметра состояния;

$\Phi_{п.д}$ — предельно допустимое значение ОФП в рабочей зоне;

Φ_0 — начальное значение ОФП;

$$\frac{y}{h} \exp\left(1,4 \frac{y}{h}\right) = Z;$$

y — координата рабочей зоны, отсчитываемая от поверхности пола, м; $0 \leq y \leq h$;

h — высота помещения, м.

Формула (1) дает связь между локальным значением параметра ОФП на уровне рабочей зоны (высота этой зоны не ограничена) и среднееобъемным значением этого параметра.

Локальное значение ОФП на высоте $y = h/2$ (половина высоты помещения) согласно приведенному выражению соответствует среднееобъемному значению этого параметра. Если обозначить среднееобъемное значение $\bar{\Phi}_m$, а локальное значение Φ_y , то связь между $\bar{\Phi}_m$ и Φ_y обеспечивает регламентируемое критическое значение ОФП при его предельном допустимом значении на высоте рабочей зоны. Однако это распределение значений ОФП по высоте не соответствует содержанию ОФП в объеме помещения, так как интеграл по высоте с учетом предложенного распределения на 33 % превышает общее содержание рассматриваемого ОФП в помещении, а для парциальной плотности кислорода возможно ее отрицательное значение на высоте $3h/4$.

Чтобы устранить существующие недостатки распределения значений ОФП по высоте, необходимо провести его коррекцию [4]. Коррекция заключается в том, что параметры ОФП в зависимости от высоты определяются выражениями:

- $y < 0,65h$:

$$\Phi_y = \Phi_0 + (\bar{\Phi}_m - \Phi_0) \left(\frac{y}{h} \exp\left(1,4 \frac{y}{h}\right) \right)^{-1}; \quad (2)$$

- $y \geq 0,65h$:

$$\Phi_y = 1,615\bar{\Phi}_m - 0,615\Phi_0. \quad (3)$$

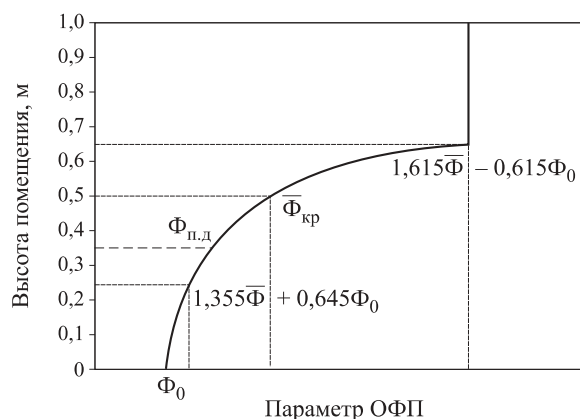


Рис. 1. Распределение значений ОФП по высоте помещения

Эти выражения дают для $y < 0,65h$ значения $\Phi_{кр}$, совпадающие с вычисленными по (1), а для $y \geq 0,65h$ (что бывает редко) $\Phi_{кр}$ можно вычислить, используя (3):

$$\Phi_{кр} = \frac{\Phi_{п.д} + 0,65\Phi_0}{1,615}. \quad (4)$$

Наглядное представление о распределении параметров ОФП по высоте помещения дают табл. 1 и рис. 1.

Истечение холодного воздуха с нижних уровней

Из уравнения баланса массы имеем:

$$\frac{d\rho_m V}{dt} = \psi - G_r, \quad (5)$$

где ρ_m — среднееобъемная плотность газов в помещении, кг/м^3 ;

V — объем помещения, м^3 ;

ψ — массовая скорость выгорания, кг/с ;

G_r — расход выталкиваемых газов, кг/с .

Из уравнения баланса энергии следует выражение для массового потока холодных газов [1]:

$$G_r = \frac{Q_{\text{пож}}(1 - \phi)}{C_p T_0}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{пож}}$ — тепловыделение в очаге горения, Дж;
 $Q_{\text{пож}} = F_{\text{г}} \psi_{\text{уд}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta$;
 $F_{\text{г}}$ — площадь горения, м^2 ;
 $\psi_{\text{уд}}$ — удельная скорость выгорания горючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
 $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ — низшая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг;
 η — неполнота сгорания, %;
 ϕ — коэффициент теплопотерь в стены, удовлетворяющий выражению $\phi = Q_{\text{w}} / Q_{\text{пож}}$;
 Q_{w} — суммарный тепловой поток в ограждения, Дж;
 C_p — теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К).

Уравнение (5) интегрируем, и с учетом связи $\rho_m T_m = \rho_0 T_0$ (где T_m — среднеобъемная температура в помещении, К; ρ_0 — начальная плотность воздуха в помещении, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_0 — начальная температура в помещении, К), которая является следствием условия постоянства давления в помещении, что свидетельствует о негерметичности помещения, получаем время достижения критической температуры при пожаре:

$$t_{\text{кр}}^T = \left[\left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{кр}}} \right) \frac{B}{A} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (7)$$

где $B = \frac{C_p T_0 \rho_0 V}{(1 - \phi) Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta}$; $A = \int \psi_{\text{уд}} F_{\text{г}} dt$.

Для случая кругового пожара

$$F_{\text{г}} = \pi U_{\text{л}}^2 t^2 \rightarrow A = \frac{\psi_{\text{уд}} \pi U_{\text{л}}^2 t^3}{3},$$

где $U_{\text{л}}$ — линейная скорость распространения пламени по площади, на которой размещается пожарная нагрузка, м/с.

Аналогично получаем выражения для критических времен достижения критических значений парциальной плотности кислорода, парциальной плотности токсичных газов и оптической плотности дыма:

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left[\frac{(\rho_0^{\text{O}_2} - \rho_{\text{п.д}}^{\text{O}_2}) V Z^{-1}}{L^{\text{O}_2} A \left(1 + 0,233 \frac{V \rho_0}{B L^{\text{O}_2}} \right)} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (8)$$

где $\rho_0^{\text{O}_2}$ — начальная парциальная плотность кислорода в воздухе, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_0^{\text{O}_2} = 81,9 / T_0$;
 $\rho_{\text{п.д}}^{\text{O}_2}$ — предельно допустимая парциальная плотность кислорода; $\rho_{\text{п.д}}^{\text{O}_2} = 0,226 \text{ кг}/\text{м}^3$;
 L^{O_2} — потребление кислорода при сгорании горючего материала, $\text{кг}/\text{кг}$;

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left[\frac{\rho_{\text{п.д}}^{\text{т.г}} V Z^{-1}}{L^{\text{т.г}} A} \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (9)$$

$\rho_{\text{п.д}}^{\text{т.г}}$ — предельно допустимая парциальная плотность токсичного газа, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $L^{\text{т.г}}$ — выделение токсичного газа при сгорании горючего материала, $\text{кг}/\text{кг}$;

$$t_{\text{кр}}^{\text{л}} = \left[\frac{2,38 / L_{\text{п.в}} V Z^{-1}}{D A} \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (10)$$

D — дымообразующая способность горючего материала, $\text{Нп} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}$;

$L_{\text{п.в}}$ — предельно допустимая дальность видимости, м.

Выражения (7)–(10) являются формулами для расчета времени наступления критических значений ОФП при истечении холодного воздуха через нижние проемы помещения.

Истечение горячих газов с верхних уровней помещения

Из баланса энергии при условии, что $dP_m/dt = 0$ (P_m — среднее давление в помещении, Па), имеем:

$$Q_{\text{пож}} \eta (1 - \phi) = C_p T_{\text{ист}} G_{\text{г}} \rightarrow \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \phi)}{C_p T_{\text{ист}}},$$

где $T_{\text{ист}}$ — температура истекающих газов, К.

Из баланса массы следует:

$$V \frac{d\rho_m}{dt} = - \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \phi)}{C_p (4T_m - 3T_0)}. \quad (11)$$

Определим время наступления критических параметров опасных факторов пожара на высоте не более $0,65h$, в связи с тем что при таких высотах будет сохраняться баланс масс.

Проинтегрировав (11), получим:

- при $y_{\text{ист}} = 0,65h$, $T_{\text{ист}} = 1,615T_m - 0,615T_0$

$$t_{\text{кр}}^T = \left\{ \frac{B}{A} \left[1,615 \ln \frac{T_{\text{кр}}}{T_0} + 0,615 \left(\frac{T_0}{T_{\text{кр}}} - 1 \right) \right] \right\}^{\frac{1}{n}}; \quad (11a)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,5h$, $T_{\text{ист}} = T_m$

$$t_{\text{кр}}^T = \left[\frac{B}{A} \left(\ln \frac{T_{\text{кр}}}{T_0} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (11б)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,25h$, $T_{\text{ист}} = 0,355T_m - 0,645T_0$

$$t_{\text{кр}}^T = \left\{ \frac{B}{A} \left[0,355 \ln \frac{T_{\text{кр}}}{T_0} - 0,645 \left(\frac{T_0}{T_{\text{кр}}} - 1 \right) \right] \right\}^{\frac{1}{n}}. \quad (11в)$$

Из баланса массы кислорода имеем:

$$V \frac{d\rho_1}{dt} = -L^{\text{O}_2} \psi - \rho_{1\text{ист}} \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \phi)}{C_p T_0 \rho_0}, \quad (12)$$

где $\rho_{1\text{ист}}$ — плотность истекающих газов, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Проинтегрировав (12), получим:

- при $y_{\text{ист}} = 0,65h$, $\rho_{1\text{ист}} = 1,615\rho_1 - 0,615\rho_0^{\text{O}_2}$

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left[\frac{B}{1,615A} \ln \left(\frac{1 + \rho_0^{\text{O}_2} V / (BL^{\text{O}_2})}{1 + \frac{(1,615\rho_{\text{кр}}^{\text{O}_2} - 0,615\rho_0^{\text{O}_2})V}{BL^{\text{O}_2}}} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (12a)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,5h$, $\rho_{1\text{ист}} = \rho_1$

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left[\frac{B}{A} \ln \left(\frac{1 + \rho_0^{\text{O}_2} V / (BL^{\text{O}_2})}{1 + \rho_{\text{кр}}^{\text{O}_2} V / (BL^{\text{O}_2})} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (12б)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,25h$, $\rho_{1\text{ист}} = 0,355\rho_1 - 0,645\rho_0^{\text{O}_2}$

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left[\frac{2,82B}{A} \ln \left(\frac{1 + \rho_0^{\text{O}_2} V / (BL^{\text{O}_2})}{1 + \frac{(0,355\rho_{\text{кр}}^{\text{O}_2} + 0,645\rho_0^{\text{O}_2})V}{BL^{\text{O}_2}}} \right) \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (12в)$$

Из баланса массы токсичного газа имеем:

$$V \frac{d\rho_2}{dt} = L^{\text{т.г}} \psi - \rho_{2\text{ист}} \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi)}{C_p T_0 \rho_0}. \quad (13)$$

Проинтегрировав (13), получим:

- при $y_{\text{ист}} = 0,65h$, $\rho_{2\text{ист}} = 1,615\rho_2$

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left[\frac{B}{1,615A} \ln \left(\frac{1}{1 - 1,615\rho_{\text{кр}}^{\text{т.г}} V / (BL^{\text{т.г}})} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (13a)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,5h$, $\rho_{2\text{ист}} = \rho_2$

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left[\frac{B}{A} \ln \left(\frac{1}{1 - \rho_{\text{кр}}^{\text{т.г}} V / (BL^{\text{т.г}})} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (13б)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,25h$, $\rho_{2\text{ист}} = 0,355\rho_2$

$$t_{\text{кр}}^{\text{т.г}} = \left[\frac{2,82B}{A} \ln \left(\frac{1}{1 - \rho_{\text{кр}}^{\text{т.г}} V / (2,82BL^{\text{т.г}})} \right) \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (13в)$$

Из баланса для оптической плотности дыма имеем:

$$V \frac{d\mu_1}{dt} = D\psi - \mu_2 \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi)}{C_p T_0 \rho_0}. \quad (14)$$

Проинтегрировав (14), получим:

- при $y_{\text{ист}} = 0,65h$, $\mu_2 = 1,615\mu_1$

$$t_{\text{кр}}^{\mu} = \left[\frac{B}{1,615A} \ln \left(\frac{1}{1 - 1,615\mu_{\text{кр}} V / (BD)} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (14a)$$

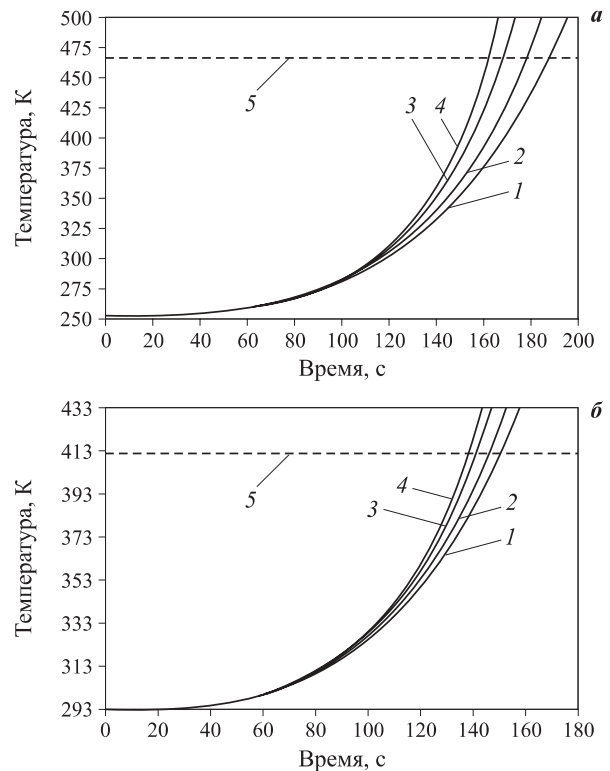


Рис. 2. Изменение температуры газов при начальной температуре в помещении 253 К (а) и 293 К (б) в зависимости от времени и места их истечения по высоте помещения: 1 — 0,65h; 2 — 0,5h; 3 — 0,25h; 4 — h = 0 (холодные газы); 5 — критическая температура для помещения объемом 5000 м³, высотой 6 м; горючее вещество — хлопок

- при $y_{\text{ист}} = 0,5h$, $\mu_2 = \mu_1$

$$t_{\text{кр}}^{\mu} = \left[\frac{B}{A} \ln \left(\frac{1}{1 - \mu_{\text{кр}} V / (BD)} \right) \right]^{\frac{1}{n}}; \quad (14б)$$

- при $y_{\text{ист}} = 0,25h$, $\mu_2 = 0,355\mu_1$

$$t_{\text{кр}}^{\mu} = \left[\frac{2,82B}{A} \ln \left(\frac{1}{1 - \mu_{\text{кр}} V / (2,82BD)} \right) \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (14в)$$

Приведенные выше зависимости (7)–(14) позволяют определить значения параметров ОФП в помещении со временем с учетом места истечения газов.

На рис. 2 и 3 показано изменение температуры и плотности O_2 до критического значения в зависимости от времени и места истечения по высоте помещения.

Как видно из рисунков, при изменении начальной температуры в помещении изменяется не только разница между температурами истекающих с нижних и верхних уровней помещения газов, но и критические значения параметров ОФП.

В табл. 2 приведены значения времени достижения критических значений для температуры и плотности кислорода на разной высоте истечения.

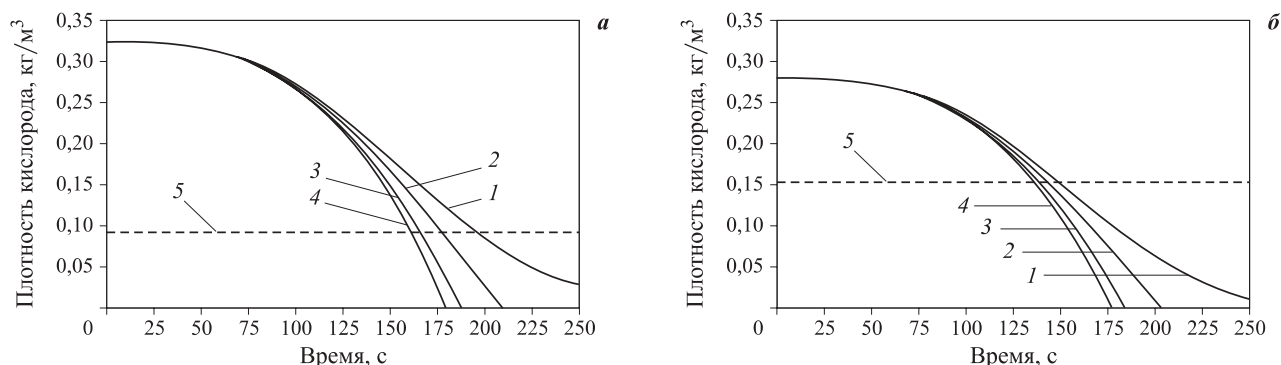


Рис. 3. Изменение парциальной плотности кислорода при начальной температуре в помещении 253 К (а) и 293 К (б) в зависимости от времени и места истечения по высоте помещения: 1 — 0,65h; 2 — 0,5h; 3 — 0,25h; 4 — h = 0; 5 — критическое значение парциальной плотности O_2 для помещения объемом 5000 м³, высотой 6 м; горючее вещество — хлопок

Таблица 2

Параметр	Начальная температура в помещении, К	Время достижения параметром критического значения, с, при высоте истечения			
		0,65h	0,5h	0,25h	h = 0
Температура газов	253	186,8/152,6	178,0/148,0	167,8/142,8	160,6/139,8
	293	150,8/121,3	146,4/119,3	141,4/117,0	138,5/115,7
Плотность кислорода	253	196,15/137,5	177,4/133,6	165,9/129,6	161,1/127,6
	293	148,9/112,2	143,1/110,4	138,2/108,7	135,7/107,6

Примечания: 1. Данные приведены для помещения объемом 5000 м³, высотой 6 м; горючее вещество — хлопок.
2. Над чертой приведены данные для высоты рабочей зоны 1,7 м, под чертой — 2,7 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 г. № 382; введ. 30.06.2009 г. // Российская газета. — 2009. — № 161.
2. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 119 с.
3. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.92 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 91 с.
4. Marshall M. R. The Effect of Ventilation on the Accumulation and Dispersal of Hazardous Gases // 4th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. Harrogate, 12–16 September 1983. — Rugby : Institution of Chemical Engineers. — Vol. 3. — P. E11–E22.

Материал поступил в редакцию 12 декабря 2012 г.

English

THE EFFECT OF CONDITIONS OF GAS EXCHANGE AND THE INITIAL TEMPERATURE OF THE FORMATION OF DANGEROUS FIRE FACTORS AT THE INITIAL STAGE OF FIRE

GOREV Vyacheslav Aleksandrovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation)

SALYMOVA Yevgeniya Yuryevna, Postgraduate Student Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation; e-mail address: kafedrapb@yandex.ru)

ABSTRACT

The regulations for determining the timing of the critical values of the hazards of fire use volume average characteristics of temperature, concentration of O_2 , toxic gases and smoke. The purpose of

this work is to show that the calculation of the time needed to consider offensive dangerous fire factors place escape of gases and their initial values. The data provided by this work can be used to determine the values of the dangerous fire factors parameters in the room up to date with regard to the location escape of gases and their initial parameters. The work shows the differences in time with regard to the location expiry, to put the volume of 5000 m³ up to 30 seconds to reach the critical temperature and critical concentration of O₂ particular note is that if you change the height of the zone of the time difference increases to 40 seconds on both counts.

Keywords: fire model; the initial stage of fire; dangerous fire factors; gas exchange; mass balance; volume average value; the critical value of dangerous fire factors.

REFERENCES

1. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroyeniyakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti: prilozheniye k prikazu MChS Rossii ot 30.06.2009 № 382 [Methodology of the calculated values of fire risk in buildings, facilities and structures of various classes of functional fire hazard: Annex to the Order of the Russian Emergencies Ministry of 30.06.2009 № 382]. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2009, No. 161.
2. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Prediction of fire hazards in the room] Moscow, State Fire Academy of Emercom RF Publ., 2000. 119 p.
3. GOST 12.1.004–91*. *SSBT. Pozharnaya bezopasnost. Obshchiye trebovaniya* [State Standard 12.1.004–91*. Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements]. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2002. 91 p.
4. Marshall M. R. The Effect of Ventilation on the Accumulation and Dispersal of Hazardous Gases. *4th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries*. Harrogate, 12–16 September 1983. Rugby, Institution of Chemical Engineers, vol. 3, pp. E11–E22.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский
КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность», «Безопасность технологических процессов и производств», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

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

ТХО ДЫК ХОАНГ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: duc_pccc@mail.ru)

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

УДК 614.841.33

ВЫБОР СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Показано, что эвакуация людей при пожаре представляет собой организованный процесс движения из зоны опасности на безопасную территорию и что она нередко становится единственным способом спасения. Рассмотрены различные типы систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Дан анализ различного оборудования для таких систем. Сделаны выводы об эффективности и целесообразности применения различных типов оборудования для СОУЭ.

Ключевые слова: пожар; эвакуация людей; система управления.

Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) является одной из наиболее важных составляющих системы безопасности. Основное назначение СОУЭ — предупреждение находящихся в здании людей о пожаре или другой чрезвычайной ситуации, а также координация их действий при осуществлении эвакуации. СОУЭ представляет собой комплекс технических средств и организационных мероприятий, предназначенных для решения этих задач.

Система оповещения и условия ее применения должны удовлетворять требованиям основных нормативных документов. В соответствии с Федеральным законом РФ № 123-ФЗ [1] требование защиты жизни, здоровья и имущества граждан и юридических лиц является основным из требований пожарной безопасности к зданиям, сооружениям и строениям. Положения этого закона обязательны при проектировании, строительстве, капитальном ремонте, техническом перевооружении и эксплуатации всех объектов защиты. Они предусматривают наличие эффективных средств оповещения о возникновении пожара и управления действиями людей при их эвакуации.

Рекомендуемыми нормативно-техническими документами для проектирования систем СОУЭ являются СП 3.13130.2009 [2] и ГОСТ Р 53325–2009 [3]. Данные нормативные документы значительно повысили уровень требований в области пожарной безопасности. Однако в них не рассматривается вопрос сопряжения пожарных систем оповещения и управления эвакуацией с системой оповещения гражданской обороны (ГО). Вследствие этого на проектируемых объектах будет предусматриваться создание

двух независимых систем, частично дублирующих друг друга.

Выпускаемые в настоящее время СОУЭ имеют техническую возможность принимать сигналы и команды централизованной системы оповещения ГО и транслировать их по речевым оповещателям. Практика показывает, что при недостаточной эффективности этих систем пожар приводит к человеческим жертвам и крупным материальным потерям.

При проектировании и строительстве нового здания затраты на построение систем оповещения и управления эвакуацией составляют доли процента от общей стоимости строительства. Стоимость СОУЭ еще больше снижается, если ее удастся совместить с системой громкой связи.

В СОУЭ применяется различное оборудование для обнаружения пожара и управления эвакуацией. В последние годы рекламируются беспроводные системы оповещения, использующие IP-протоколы передачи данных и адресные устройства оповещения. На рынке технических средств обеспечения пожарной безопасности представлены российские и зарубежные производители, цены на продукцию которых существенно различаются.

С выходом и утверждением двух методик расчета пожарных рисков в зданиях и сооружениях значение СОУЭ с использованием разных типов оборудования для обеспечения пожарной безопасности значительно возрастает.

Рассмотрим требования, предъявляемые нормативными документами (федеральными законами, нормативными актами, постановлениями и т. п.) к системам оповещения.

В федеральном законе [1] сформулированы общие требования к системам оповещения, основным из которых является разграничение функций приемно-контрольных приборов и приборов управления. В паспорте на прибор должно быть указано, к какому типу относится тот или иной прибор. Законом [1] управление оповещением возлагается на прибор управления (ПУ) и устанавливается недопустимость выдавать управляющие сигналы с ППКП. В связи с этим положением проектным организациям придется перерабатывать типовые схемы для проектов систем оповещения, в которых предусмотрено управление от приемно-контрольных приборов.

Оповещение людей о пожаре осуществляется следующим образом:

- передачей звуковых и (или) световых сигналов в помещении, где люди могут подвергаться воздействию опасных факторов пожара, а также в помещениях, где могут остаться люди при блокировании эвакуационных путей пожаром;
- трансляцией речевой информации о необходимости эвакуации и о действиях, направленных на обеспечение безопасности.

Управление эвакуацией осуществляется посредством:

- передачи по СОУЭ специально разработанных текстов, направленных на предотвращение паники и других явлений, усложняющих процесс эвакуации (скопление людей в проходах и т. п.);
- трансляции текстов, содержащих информацию о направлении движения;
- включения световых указателей направления эвакуации “Выход”, систем “бегущая волна” и других световых средств индикации направления движения;
- дистанционного открывания дверей эвакуационных выходов (например, оборудованных электромагнитными замками).

СОУЭ может проектироваться совмещенной с радиотрансляционной сетью здания. В этом случае элементы радиотрансляционной сети и помещение радиоузла должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к соответствующим элементам и диспетчерскому пульту СОУЭ.

Классификация СОУЭ

В СП 3.13130.2009 [2] СОУЭ классифицируются по ряду признаков:

- виду выполняемых функций (оповещение о пожаре, оповещение о пожаре и управление эвакуацией);
- способу оповещения (звуковой, речевой, световой, комбинированный);
- уровню автоматизации (автоматические, автоматизированные, неавтоматизированные);

- избирательности и многовариантности текстов оповещения и схем организации эвакуации;
- уровню взаимодействия с другими системами противопожарной защиты.

Проектируемые СОУЭ для общественных зданий подразделяются на пять типов.

СОУЭ 1-го типа

Системы данного типа обеспечивают оповещение людей о пожаре только в одном помещении (в котором возник пожар) и (или) при необходимости в смежных помещениях. Способом оповещения является звуковой сигнал (звонок или тонированный). Возможно дополнение его световым мигающим сигналом. Включение средства оповещения производится автоматически при срабатывании пожарных оповещателей.

Системы 1-го типа рекомендуются для оповещения людей, хорошо знакомых с путями эвакуации, и в зданиях, из которых эвакуируется незначительное количество людей с образованием людских потоков небольшой плотности (1 чел./м² и менее).

СОУЭ 2-го типа

Системы данного типа обеспечивают оповещение звуковым сигналом (звонок, тонированный), включением световых табло “Выход”, а при необходимости — включением указателей направления движения к эвакуационным выходам.

Системы подобного типа включаются вручную лицом из числа дежурного персонала при получении информации о срабатывании пожарного извещателя. Возможно включение СОУЭ от ручных пожарных извещателей.

Сигналы поступают во все помещения здания, в которых находятся люди, одновременно или в два этапа: сначала оповещается персонал здания, а затем одновременно весь основной контингент находящихся в нем людей.

Световые указатели размещаются в коридорах зданий, если эвакуационные выходы или табло “Выход” видны не из всех точек коридора (коридор имеет повороты или большую протяженность).

Данный тип СОУЭ рекомендуется для многоэтажных зданий при условии, что при эвакуации на один выход с каждого этажа приходится не более 50 чел.

Структура СОУЭ 2-го типа позволяет осуществлять передачу сигналов отдельно и поочередно по нескольким зонам оповещения в здании. Зоной оповещений может быть этаж (противопожарный отсек или группа этажей), другие части здания, выделенные в зависимости от объемно-планировочных или конструктивных решений.

Способы оповещения, а также транслируемые тексты могут быть различными. При необходимости

для обеспечения минимального времени оповещения в отдельных зонах, где может временно находиться персонал здания, но не более 10 чел. одновременно, предусматривается автоматическое включение средств оповещения при срабатывании пожарных извещателей.

Управление оповещением осуществляется из общего (для всех зон) диспетчерского пульта, в котором находятся устройства для управления СОУЭ и приемные устройства автоматической пожарной сигнализации.

Средства оповещения включаются диспетчером после получения сообщения о пожаре (по каналам автоматической пожарной сигнализации, по телефону или другим способом) и проверки сигнала, а также подтверждения необходимости эвакуации людей. Для обеспечения возможности проверки сообщения о пожаре должны быть предусмотрены средства связи диспетчерского пульта с зонами оповещения.

Автоматическое оповещение используется в зонах, аналогичных зонам применения СОУЭ 1-го типа.

СОУЭ 3-го типа

Системы этого типа проектируются применительно:

- к зданиям, где находятся группы людей, существенно различающиеся по степени осведомленности о путях эвакуации (например, персонал и посетители) и по способности самостоятельно эвакуироваться (медперсонал и больные, дошкольники и воспитатели, другие группы);
- к многоэтажным зданиям, где при эвакуации на один выход на лестничную клетку приходится более 50 чел.;
- к крупногабаритным зданиям, для которых одновременная эвакуация людей из всех помещений нецелесообразна (пожар в одной зоне оповещения не представляет угрозы для людей в других зонах) или недопустима (при образовании на путях эвакуации людских потоков плотностью 6 чел./м² и более).

Последовательность оповещения людей в различных зонах должна определяться исходя из условий обеспечения безопасности и с учетом следующих требований:

- помещения здания, в которых находится персонал, ответственный за эвакуацию, выделяются в самостоятельную зону оповещения; персонал (весь или частично) оповещается в первую очередь;
- в зданиях высотой 9 этажей, при эвакуации из которых на лестницах могут образоваться людские потоки (плотностью 6 чел./м² и более), оповещаются люди на этаже, на котором возник пожар, на следующем вышележащем этаже и на двух последних этажах здания, после этого —

в остальных помещениях выше этажа пожара, затем — в помещениях ниже этажа пожара. Интервал задержки оповещения должен составлять 30–40 с, но не более половины времени эвакуации с этажа, на котором возник пожар (чтобы люди смогли покинуть коридор этого этажа до образования плотных людских потоков на лестницах).

СОУЭ 4-го типа

Система 4-го типа предусматривает автоматизированное речевое и (или) звуковое оповещение людей в здании и активное управление их движением с помощью световых указателей. Световые указатели направления движения включаются отдельно для каждой зоны, благодаря чему можно управлять движением людей как минимум в двух направлениях на каждом участке горизонтальных эвакуационных путей.

СОУЭ 4-го типа рекомендуется использовать в следующих случаях:

- при нахождении в здании 1000 чел. и более;
- при значительной протяженности (90 м и более) горизонтальных эвакуационных путей;
- при сложной планировке помещений здания, что затрудняет ориентировку людей в случае эвакуации при возникновении пожара.

Схема включения световых указателей позволяет управлять эвакуацией в случае блокирования опасными факторами пожара одной из лестниц в здании.

СОУЭ 5-го типа

Системы 5-го типа имеют те же характеристики, что и системы 4-го типа, за исключением следующих:

- функциональная структура и комплекс технических средств СОУЭ обеспечивают возможность реализации множества вариантов организации эвакуации из каждой зоны оповещения. Идентификация варианта производится автоматически в зависимости от места возникновения пожара;
- световые средства управления эвакуацией включаются автоматически в соответствии с выбранным вариантом организации эвакуации;
- реализация каждого варианта эвакуации предусматривает координированное управление из одного диспетчерского пульта всеми системами здания, связанными с безопасностью людей, в том числе лифтами и эскалаторами; устройствами противодымной защиты, вентиляции и кондиционирования; выходами с дверями, оборудованными дистанционным управлением; установками промышленного телевидения.

Системы данного типа рекомендуются для зданий повышенной этажности (более 16 этажей), а также multifunctionальных зданий меньшей этажности,

Характеристики различных типов систем оповещения

Характеристика систем оповещения о пожаре	Наличие указанных характеристик у различных типов систем оповещения				
	СО-1	СО-2	СО-3	СО-4	СО-5
1. Способы оповещения:					
• звуковой (звонок, тонированный сигнал и др.)	+	+	*	*	*
• речевой (запись и передача спецтекстов)	—	—	+	—	+
• световой:					
– световой мигающий сигнал	*	*	—	—	—
– световые указатели “Выход”	*	+	+	+	+
– световые указатели направления движения	—	*	*	+	+
– световые указатели направления движения с включением отдельно для каждой зоны	—	*	*	*	+
2. Связь зоны оповещения с диспетчерской	—	—	*	+	+
3. Очередность оповещения:					
• всех одновременно	*	+	—	—	—
• только в одном помещении (части здания)	*	*	*	—	—
• сначала обслуживающего персонала, а затем всех остальных (при необходимости по специально разработанной очередности)	—	*	+	+	+
4. Полная автоматизация управления систем оповещения и возможность реализации множества принципов организации эвакуации из каждой зоны оповещения	—	—	—	—	+
Примечание. + — требуется; * — рекомендуется; — — не требуется.					

в которых могут находиться одновременно 2000 чел. и более.

Техническое исполнение элементов СОУЭ определяется конкретными функциональными, геометрическими и другими параметрами здания (см. таблицу).

В состав оборудования систем оповещения СО-1 и СО-2 входят: световые, звуковые, светозвуковые оповещатели, таблички — указатели маршрута эвакуации. Для СО-3, СО-4, СО-5 применяются комплекты оборудования, обеспечивающие дополнительно подачу речевого сигнала в автоматическом и ручном режимах управления. При этом подача сигнала тревоги должна осуществляться в разной последовательности и в отдельные зоны.

В СОУЭ 1-го и 2-го типов оповещение осуществляется с помощью световых и звуковых оповещателей. На рынке уже появляются приборы, предназначенные именно для 1-го и 2-го типов оповещения (Тромбон-ПУ-2), обеспечивающие контроль исправности линий связи с оповещателями, а также питание оповещателей от аккумуляторной батареи при отключении основного питания.

СОУЭ 3–5-го типов представляют собой автономные централизованные комплексы и строятся по модульному принципу. В зависимости от архитектурных особенностей здания и его назначения системы оповещения включают в себя устройства передачи экстренных сообщений или дополняются мо-

дулями для трансляции по зонам фоновой музыки и объявлений обычного назначения. Кроме того, системы оповещения о пожаре различаются по количеству зон оповещения, способности программирования логики событий, возможностям управления СОУЭ.

Можно выделить несколько блоков, общих для всех систем оповещения о пожаре:

- блок управления и коммуникации;
- усилительное оборудование (предварительные усилители и усилители мощности);
- выносные микрофонные консоли для организации удаленного рабочего места;
- источники сигнала (микрофон, установленный на пульте диспетчера или на блоке тревожных сообщений, цифровой магнитофон с записанными тревожными сообщениями, генератор тонального сигнала, радиоприемник, СЭ-проигрыватель, внешняя трансляционная сеть);
- громкоговорители (оповещатели рупорные, настенные, потолочные);
- эвакуационные знаки пожарной безопасности, световые оповещатели.

Выбор типа оповещателей определяется проектной организацией в зависимости от физического состояния находящихся в здании людей. При выборе следует исходить из того, что оповещатели должны исключать возможность негативного воздействия на здоровье людей и приборы жизнеобеспечения.

Системы оповещения о пожаре должны включаться автоматически от командного сигнала, формируемого автоматической установкой пожарной сигнализации или пожаротушения; при этом по зонам передается записанное электронное сообщение. В случае необходимости диспетчер может сам передавать экстренные сообщения с микрофонной консоли или с блока управления СОУЭ. В системах 3–5-го типов автоматическое управление, а также ручное дистанционное и местное включение допускается использовать только в отдельных зонах оповещения.

Системы оповещения по конструктивному исполнению могут быть разделены на те, у которых сигнал коммутируется по зонам оповещения до его усиления, и на те, у которых это происходит после усиления. В случае коммутации сигнала до его усиления системы оповещения о пожаре должны содержать по одному усилителю на каждую зону (Блюз, Стриж-2). Во втором случае несколько источников сигнала подключаются ко входу усилителя, а затем усиленный звуковой сигнал распределяется по зонам оповещения (Тромбон).

В настоящее время применяются в основном аналоговые проводные системы оповещения. Вместе с тем созданы СОУЭ, в которых обработка и передача аудиоинформации осуществляются в цифровом виде (Киберсистема, Стриж-2), а также беспроводные СОУЭ (Орфей-Р). Это позволяет существенно увеличить количество транслируемых сигналов и передавать по одним линиям несколько сообщений, а также объединять несколько автономных систем оповещения и управлять ими. В беспроводной системе значительно упрощается монтаж, а главное — обеспечивается дополнительная живучесть СОУЭ. Для трансляции экстренных сообщений по зонам больших помещений рекомендуются громкоговорители различных конструкций. Количество звуковых и речевых пожарных извещателей, их расстановка и мощность должны обеспечивать одинаковый уровень звука во всех местах постоянного или временного пребывания людей.

Звуковое давление — основная количественная характеристика звука (Па). Наименьшее звуковое давление, которое воспринимает человеческое ухо (порог слышимости), составляет $2 \cdot 10^{-5}$ Па, наибольшее (болевого порог) — 20 Па. В связи с большой разницей между этими значениями используется логарифмическая шкала, равная отношению звукового давления вблизи источника к порогу слышимости. Таким образом, уровень звукового давления (дБ) определяется по формуле: $L_p = 20 \lg(P_1/P_0)$, где P_1 — звуковое давление вблизи источника, Па; P_0 — пороговая величина звукового давления, Па.

Уровень звукового давления, развиваемый пожарными извещателями на расстоянии $1^{+0,05}$ м, должен находиться в пределах от 85 до 120 дБ, речевыми пожарными извещателями — от 70 до 110 дБ.

Одним из основных требований, предъявляемых к СОУЭ 4–5-го типов, является разделение здания на зоны пожарного оповещения для предварительного оповещения персонала и последовательной организации эвакуации людей из зон помещения. Оповещатели не должны иметь регуляторов громкости и должны подключаться к сети электропитания или к линиям оповещения. Световые оповещатели должны обеспечивать контрастное восприятие информации при освещенности в диапазоне от 1 до 500 лк.

В дополнение к традиционным указателям эвакуационного выхода на рынке систем оповещения появились звуковые оповещатели нового класса “Exit Point”, которые обеспечивают эвакуацию при задымлении, когда визуальные средства становятся неэффективными. Время эвакуации при использовании этих оповещателей сокращается на 25 %. В отличие от обычных звуковых оповещателей “Exit Point” использует широкополосный шумовой сигнал во всем звуковом диапазоне. В этих условиях человек легко определяет точное направление на этот источник даже в условиях замкнутых помещений с отражением от окружающих предметов.

Живучесть СОУЭ при пожаре

В заключение отметим, что системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией должны функционировать в течение времени, необходимого для завершения эвакуации из здания при возникновении пожара.

По надежности электроснабжения СОУЭ относятся к первой категории. При этом в системе оповещения должно осуществляться автоматическое переключение (при необходимости) источника питания на резервный, который обеспечивает не менее 24 ч функционирования системы. Максимальная температура, при которой СОУЭ и речевые оповещатели сохраняют работоспособность, должна быть не ниже 550 °С.

Кабели и провода, применяемые в СОУЭ, а также способы их прокладки должны обеспечивать работоспособность соединительных линий в условиях возникшего пожара в течение времени, необходимого для полной эвакуации людей из зоны опасных факторов пожара.

Требования к кабельной продукции содержатся в ГОСТ Р 53315–2009 [3]. В этот стандарт включен показатель “огнестойкость кабеля”, количественной мерой которого является предел огнестойкости, ха-

рактикующий время, в течение которого кабель (под воздействием регламентированного теплового источника) выполняет свои функции передачи электрической энергии, сигналов. Огнестойкость кабельных линий определяется не только конструктивным исполнением кабеля, но и способом его прокладки на объекте. В связи с этим особую важность

приобретает вопрос о проверке сохранения работоспособности кабеля в условиях пожара, а также конструктивных элементов прокладки (лотков, креплений, соединительных коробок и т. д.). Таким образом, испытаниям необходимо подвергать не один кабель, а сразу всю кабельную систему, аналогично тому, как это делается за рубежом [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 173; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. ГОСТ Р 53315–2009. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009.
4. DIN 4102–12. Огнестойкость строительных материалов и конструкций. Ч. 12. Надежность электрических кабелей. Требования и испытания. URL : www.vniiki.ru/document/3971680.aspx (дата обращения: 15.11.2012 г.).

Материал поступил в редакцию 20 ноября 2012 г.

English

SELECTION SYSTEM OF WARNING AND EVACUATION CONTROL DURING A FIRE

HOANG Tho Duc, Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation; e-mail address: duc_pccc@mail.ru)

KOROLCHENKO Aleksandr Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

The current paper demonstrates that the evacuation in case of the fire is an organized process of moving from the danger zone to a safe area and that it is often the only way of rescue. The warning system and evacuation management (WSEM) is a set of organizational measures and technical equipment designed to promptly inform people about the fire and necessary escape routes. As practice shows, the lack of effectiveness of these systems leads to human casualties and massive financial losses. The present research considers different types of WSEM and provides comparison between the domestic and foreign equipment, comparison of systems by their installation time, comparison between wired and wireless systems. The features of the wireless alarm systems as well as application of digital technologies are considered in the paper. The main advantage of the wireless WSEM is reduction in effort and hence the lesser cost of system-building as compared with the wired systems. Thereby, the wireless technology may eventually take a significant share in a warning system market. The same goes for digital WSEM using LAN/WAN data transmission channels. However, the application of these systems is limited by the fact that they are not covered by the existing regulations. The paper analyzes various equipment for such systems, the effectiveness of their investing, and persistence of the WSEM against the fire. At the end, conclusions about effectiveness and appropriateness of the various types of equipment for the WSEM are made.

Keywords: fire; evacuation; control system.

REFERENCES

1. *Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti: Feder. zakon ot 22.07.2008 № 123-FZ* [Technical Regulations on Fire Safety: Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123-FZ]. Sobraniye zakonodatelstva RF [Collection of Laws of the Russian Federation], 2008, No. 30 (Part I), Art. 3579.
2. *SP 3.13130.2009. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey lyudey pri pozhare. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti* [Sets of rules No. 3.13130.2009. Systems of fire protection. System of annunciation and management of human evacuation at fire. Requirements of fire safety]. Moscow, Emercom of Russia, 2009.
3. *GOST R 53315–2009. Kabelnyye izdeliya. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti* [State Standard 53315–2009. Cable products. Requirements of fire safety]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
4. *DIN 4102–12. Ognestoykost stroitelnykh materialov i konstruktsiy. Ch. 12. Nadezhnost elektricheskikh kabeley. Trebovaniya i ispytaniya* [DIN 4102–12. Fire resistance of building materials and structures. Part 12. Reliability of electric cables. Requirements and tests]. Available at: <http://www.vniiki.ru/document/3971680.aspx> (accessed 15 November 2012).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает вашему вниманию

Л. П. Пилюгин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ



Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на этих производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

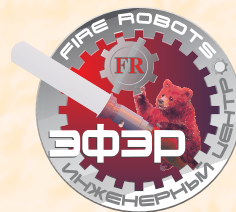
Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

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

ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”

185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская, д. 4
Тел./факс: (8142) 77-49-31, 57-34-23
e-mail: marketing@firerobots.ru; www.firerobots.ru



УСТАНОВКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

на базе лафетных стволов с осцилляторами для защиты объектов энергетики

О ПРОБЛЕМЕ

Руководством ОАО “ФСК ЕЭС” в 2009 г. была обозначена проблема поиска альтернативных решений по системам пожаротушения маслonaполненных силовых трансформаторов, связанная с необходимостью применения новой техники пожарно-технического назначения. Применяемая в настоящее время система пожаротушения с использованием дренчерных оросителей ОПДР имеет ряд недостатков, такие как:

- сложная трубная разводка с индивидуальной схемой для каждого типа трансформатора;
- возможность выхода из строя оросителей при пожаре из-за близкого расположения к ним источника возгорания;
- сложность монтажа и последующего обслуживания из-за расположения оросителей на большой высоте;
- отсутствие гарантированного поставщика из-за прекращения производства оросителей ОПДР.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР” разработаны технические решения “Автоматические установки пожаротушения на базе лафетных стволов (ЛС) с осцилляторами для защиты объектов энергетики России”. К ним, в частности, относятся маслonaполненные силовые трансформаторы, высоковольтное оборудование и другое оборудование открытой установки.

Предлагаемый способ тушения обладает рядом преимуществ:

- используется только кольцевой трубопровод с установленными на нем лафетными стволами без традиционной трубной обвязки с распределительной сетью оросителей;
- расположение лафетных стволов для подачи распыленной воды на автотрансформатор (АТ) на доступной высоте значительно облегчает их эксплуатацию и производство работ по техническому обслуживанию, а также обслуживание транс-

форматоров и высоковольтного оборудования, поскольку в этом случае не требуется применение подъемных устройств и отключение трансформатора. При этом снижается вероятность выхода из строя системы пожаротушения при возникновении возгорания;

- лафетные стволы имеют регулировку направления струи по горизонтали и вертикали и возможность изменения угла факела распыленной струи, что может оказать положительное влияние на эффективность тушения локальных возгораний как на самом АТ, так и на прилегающей к нему территории;
- значительное уменьшение массы и габаритных размеров установки, возможность использования существующей системы водоснабжения (трубопроводов, насосной станции пожаротушения) при сохранении заданной интенсивности орошения снижают стоимость и эксплуатационные расходы при замене существующих АУП с оросителями ОПДР на лафетные стволы с осцилляторами;
- применение лафетных стволов с осциллирующими устройствами уменьшает негативное воздействие ветра, приводящее к сносу струи, так как угол подачи воды относительно направления ветра можно менять с целью достижения его оптимального значения;
- положение лафетных стволов и их элементов идентифицируется специальными приспособлениями на ЛС, что позволяет при необходимости вернуться к первоначальным настройкам, в частности после технического обслуживания ЛС и т. п.

Указанные преимущества отмечены в отчете “О применении пожарных лафетных стволов АУПТ на ПС 500 кВ Новокаширская” после двухлетней опытной эксплуатации, в течение которой не были выявлены какие-либо дефекты и недостатки (рис. 1).

Таким образом, применение пожарных лафетных стволов с осциллирующим устройством для защиты трансформаторов от пожара представляется перспективным и альтернативным применению оросителей.



Рис. 1. АУПТ на ПС 500 кВ Новокаширская

Пожарные лафетные стволы ЛС-С20(15; 25)У и ЛС-С40(20)Уо, входящие в состав автоматических установок пожаротушения, получили аттестацию (заключение аттестационной комиссии ОАО «ФСК ЕЭС» № 29-12 от 21.05.2012 г.) как средства, предназначенные для применения на объектах энергетики России.

О ПРОДУКЦИИ

ЛС-С20(15; 25)Уо — ствол пожарный лафетный стационарный (фланцевое присоединение) с комбинированным универсальным насадком, с осциллирующим устройством, имеет регулируемый расход огнетушащего вещества (ОВ) от 15 до 25 л/с, который выставляется в зависимости от расчетных данных проекта.

Комбинированный универсальный насадок позволяет подавать как воду, так и пену низкой кратности без смены насадка и установки дополнительных устройств, таких как пеногенераторы, а также менять угол факела распыленной струи от сплошной до 120°.

При меньших углах обеспечивается наибольшая дальность орошения, при больших — орошение наибольшей поверхности.

Ствол имеет подвижность в сферической системе координат. Направление подачи струи можно регулировать в горизонтальной плоскости на 360°, в вертикальной — от -45 до 90°.



Рис. 2. Лафетный ствол ЛС-С20(15; 25)Уо

Параметр	Значение параметра		
Номинальное давление, МПа	0,6		
Рабочее давление, МПа	0,4–0,8		
Расход при номинальном давлении, л/с, не менее:			
воды	15	20	25
раствора пенообразователя	15	20	25
Кратность пены, не менее	7		
Размер резьбы насадка	G 2-1/2		
Дальность струи при номинальном давлении, м, не менее:			
водяной сплошной	50	55	59
пенной сплошной	44	47	49
Перемещение ствола в ручном режиме управления, град, в плоскости:			
вертикальной	От 90 до -45		
горизонтальной	360		
Угол факела распыленной струи, град	0–120		
Угол осциллирования, град	30±5, 70±5, 110±5		
Средняя скорость осциллирования, град/с	2–6		
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150	У 1, УХЛ 1.1		
Масса, кг, не более	20		

Осциллирующее устройство (осциллятор), входящее в комплект ЛС, предназначено для циклического перемещения ЛС влево — вправо по оси в горизонтальной плоскости в заданном секторе. Осциллятор обеспечивает перемещение струи по заранее заданной траектории без участия человека, используя энергию подводимой для пожаротушения воды.

Основные технические характеристики лафетного ствола ЛС-С20(15; 25)Уо приведены в таблице.

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

На рис. 3 и 4 представлена схема защиты силового масляного трансформатора автоматической установкой пожаротушения с применением лафетных стволов с осцилляторами. Лафетные стволы устанавливаются на кольцевом противопожарном водопроводе Ду 200 по периметру автотрансформатора на расстоянии не менее 2,5 м в соответствии с требованиями ПУЭ. Размещение стволов обеспечивает орошение каждой точки автотрансформатора не менее чем двумя струями.

Средняя интенсивность орошения определяется как отношение общего расхода задействованных при пожаре лафетных стволов (л/с) к площади зоны орошения (м²) за время длительности цикла (с) и должна быть не менее нормируемой интенсивности орошения, установленной для дренчерных систем.

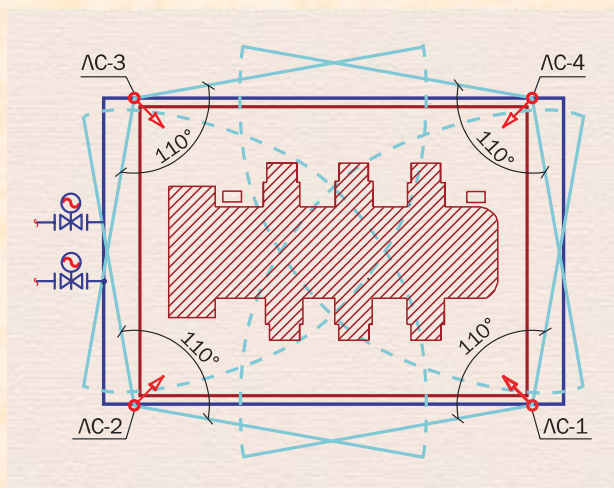


Рис. 3. Схема защиты силового масляного трансформатора автоматической установкой пожаротушения с применением лафетных стволов с осцилляторами

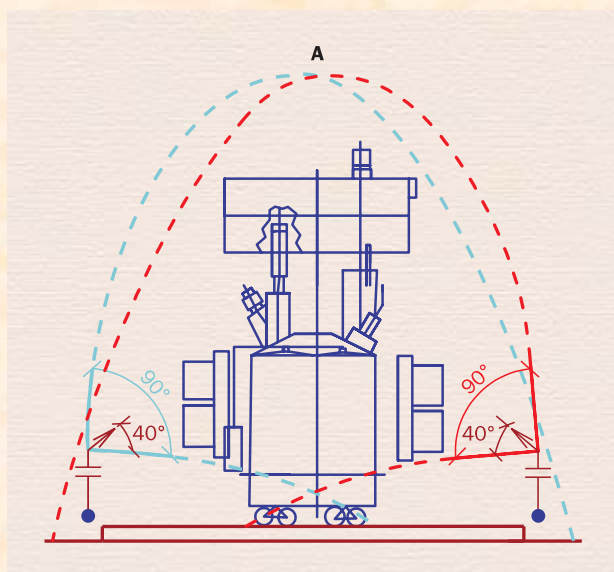


Рис. 4. Схема установки лафетных стволов с осцилляторами на плане объекта в разрезе

Для составления карт орошения применен метод эмпирического исследования траекторий струй посредством инженерной фотографии, разработанный специалистами инженерного центра (рис. 5). Метод учитывает функциональную зависимость интенсивности орошения от таких параметров струй, как расход, давление, угол наклона ствола в вертикальной плоскости, угол факела распыла струи и т. п. Полученные данные обрабатываются на ПВЭМ и используются при проектировании систем пожаротушения.



Рис. 5. Фрагмент фотоснимка траектории струи

Рассмотрим расчет наружной установки водяного пожаротушения высоковольтного (320/220 кВ) автотрансформатора АТДЦН 240000/320/220-7291 с применением лафетных стволов ЛС-С20Уо. Общая площадь, подлежащая защите установкой пожаротушения, включает в себя вертикальные и горизонтальные наружные поверхности элементов автотрансформатора. С учетом 10 %-ного запаса на неучтенные крепления и трубопроводы расчетная защищаемая площадь составляет 325 м². Минимальное количество лафетных стволов ЛС-С20(15; 25)Уо, необходимое для защиты объекта, — 4 шт.

При расчете учитывалось орошение каждой точки защищаемой поверхности двумя струями при давлении 0,6 МПа и дальности подачи струи 10 м (при углах факела распыла струи 90°, возвышения ствола 40° и расходе 20 л/с). Расход воды на пожаротушение составит 80 л/с; при этом интенсивность орошения будет 0,24 л/(с·м²) при норме 0,20 л/(с·м²). С учетом минимального расхода на наружное пожаротушение не менее 10 л общий расход установки пожаротушения составит 90 л/с.

Таким образом, расход автоматической установки пожаротушения автотрансформатора с применением осциллирующих лафетных стволов не превышает расхода дренчерных систем с оросителями ОПДР, что позволяет с минимальными затратами при реконструкции систем пожаротушения объектов энергетики применить более современные технологии без замены существующих систем водоснабжения.

© **Ю. И. ГОРБАНЬ**, генеральный директор, главный конструктор;

© **М. Ю. ГОРБАНЬ**, технический директор; ЗАО "Инженерный центр пожарной робототехники "ЭФЭР" — коллективного члена НАНПБ, г. Петрозаводск

© **Е. А. СИНЕЛЬНИКОВА**, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха Московской области

Пенообразователи

ШТОРМ



Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

Шторм-М — высокоэффективный пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь специального назначения.

Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы, а также везде, где необходимо за короткое время обеспечить тушение больших площадей с разливом нефти или нефтепродуктов либо предотвратить возгорание горючих жидкостей.

ГФЭКТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 995-82-72

www.gefestnpk.ru

www.shtpena.ru



MIOGE

12-я МОСКОВСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА **НЕФТЬ И ГАЗ**



25-28

ИЮНЯ 2013

**МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР**



11-й РОССИЙСКИЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОНГРЕСС

RPGC

25-27

ИЮНЯ 2013

**МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР**

**ГЛАВНЫЕ
МЕРОПРИЯТИЯ ГОДА
ДЛЯ ГЛАВНОЙ
ОТРАСЛИ РОССИИ**



О. А. КРЯЖИЧ, младший научный сотрудник, соискатель, Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины (Украина, 03186, г. Киев, Чоколовский б-р, 13; e-mail: economconsult@gmail.com)

В. Д. ЗАХМАТОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины (Украина, 03186, г. Киев, Чоколовский б-р, 13; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

УДК 004.2

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТОЙ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Определены особенности, которые следует учитывать при построении моделей потенциально опасного объекта. Рассмотрен вариант моделирования обеспечения импульсной взрывопожарной защиты химического предприятия. Представлены модели импульсной локализации активного элемента с учетом различных вариантов развития аварии. Сделаны выводы относительно практической реализации моделей и перспективности исследования.

Ключевые слова: модель; импульсные системы; взрывопожарная защита; функция.

Введение

Современные условия функционирования потенциально опасных объектов на Украине и в других странах СНГ позволяют выделить две основные проблемы:

1) устаревшие фонды и технологии ставят под угрозу безаварийное функционирование объекта, а авария на нем может вызвать взрывы и пожары с выбросом опасных веществ;

2) существующие средства взрывопожарной защиты и технологии их применения не всегда позволяют своевременно локализовать очаг поражения и, как следствие, предотвратить распространение аварии за пределы рабочей площадки.

Решение этих проблем требует применения современных информационных технологий поддержки принятия решений (ППР), которые бы позволяли в кратчайшие сроки сопоставить имеющиеся средства локализации и ликвидации аварии и данные об опасности или возможной опасности объекта.

Основными антропогенными источниками углубления экологического кризиса на Украине выступают крупные химические предприятия. По информации МЧС Украины, сейчас функционируют 1810 объектов, на которых хранится или используется в производственной деятельности почти 300 тыс. т сильнодействующих высокотоксичных и высококоррозионных веществ. В зонах возможного химического заражения (в случае аварии на этих объектах) проживает около 22 млн. чел. Все это предъявляет новые требования к повышению пожаровзрывобезопасности химических предприятий.

В качестве нового оборудования для обеспечения пожаровзрывобезопасности химических предпри-

ятий предложены импульсные средства многоплановой защиты [1], применение которых позволяет значительно повысить эффективность тушения и сократить время реагирования на событие.

Актуальность исследуемой темы обусловлена тем, что новые импульсные средства требуют разработки новых моделей и алгоритмов, необходимых для создания информационных технологий управления обеспечением пожаровзрывобезопасности химических предприятий.

Целью статьи является поиск подходов к разработке моделей обеспечения надежной взрывопожарной защиты химических предприятий с помощью импульсных средств с учетом возможных масштабов кризиса.

Поставленная цель требует решения следующих задач:

- определить основные особенности действия новых импульсных средств взрывопожарной защиты, которые необходимо учитывать при разработке модели импульсной локализации активного элемента, и на этой основе предложить математические модели локализации аварии при различных сценариях ее развития;
- разработать возможный алгоритм обеспечения безопасности химического предприятия исходя из заданных условий химического объекта, характеристик импульсной техники и с учетом вероятности локализации аварии.

Использование импульсной техники для взрывопожарной защиты предложено в исследованиях д-ра техн. наук, проф. В. В. Севрикова (Луганский технический университет, Севастопольский приборостроительный университет); канд. техн. наук

Л. М. Мешмана (ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха); д-ра техн. наук, проф. И. М. Абдурагимов (Академия ГПС МЧС России, г. Москва); д-ра техн. наук, проф. В. Д. Захматова (ИТГИП НАН Украины); д-ра техн. наук, проф. Д. Г. Ахметова (Институт гидродинамики им. А. М. Лаврентьева РАН).

Вопросы по математическому моделированию при обеспечении взрывопожарной защиты больших объектов с помощью традиционных противопожарных средств рассматривались в работах Н. Н. Брушлинского [2], Ю. Д. Моторыгина [3] и др. Существует ряд методик, которые используются при моделировании и разработке систем автоматизации взрывопожарной защиты в разных странах мира. Однако решение подобного вопроса с использованием импульсных средств рассматривается впервые.

Необходимость повышения пожаровзрывобезопасности химических предприятий, в том числе путем внедрения новых моделей, которые могут быть положены в основу разработки систем поддержки принятия решений, вызвана рядом причин:

- повышается частота аварийных состояний и сложность ликвидации их последствий как итог износа и старения основных средств [4];
- системы взрывопожарной безопасности существующих химических предприятий не рассчитаны на зафиксированный уровень износа объектов [5];
- существующие средства взрывопожарной защиты не рассчитаны на одновременную ликвидацию пожаров на химическом предприятии и локализацию выбросов или разливов опасного вещества [6];
- план ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на химическом предприятии просчитан для типовых аварий, а отклонение аварийной ситуации от типовой нуждается в немедленном просчете с обработкой больших объемов информации, поступающей с места события, что невозможно выполнить без современных программно-аппаратных средств;
- принятие решений на месте аварии приводит к необоснованным расходам средств и сил, поражению личного состава и персонала предприятия [1];
- увеличиваются затраты на локализацию и ликвидацию последствий, восстановление предприятий после аварий.

В условиях экономического кризиса большинство химических предприятий, в том числе потенциально опасных, для относительно стабильного функционирования вынуждены длительное время работать на оборудовании с уровнем износа 70,9 %. В связи с этим важной задачей является обеспечение потенциально опасных объектов новой, относительно недорогой, легкой в монтаже и обслужи-

вании и одновременно эффективной техникой и технологией взрывопожарной защиты [5].

Предложенные средства многоплановой защиты [1, 5, 6] позволяют значительно повысить эффективность тушения и сократить время реагирования на событие. Они превосходят традиционные средства защиты по следующим параметрам:

- затраты огнетушащего состава (ОС) или воды только в 2–3 раза выше расчетных, в то время как у традиционной техники удельные затраты ОС и воды превосходят теоретические в 10–10 000 раз;
- эффективность влияния на очаг поражения при использовании одного модуля или огнетушителя выше почти в 100 раз, что сокращает время тушения примерно в 50 раз;
- дальность действия выше в 3–10 раз;
- высокая надежность и стабильность работы в широком диапазоне температур — от минус 60 до 60 °С, погодных и климатических условий;
- гибко управляемое, эффективное распыление любых — жидких, гелеобразных и порошковых ОС, а также впервые грунта, песка, воды, грязи, пыли, промышленных пылевых и порошковых отходов без дополнительной подготовки и изменений конструкции;
- возможность обеспечения комбинированного тушения или защиты с одной установки, системы или машины;
- низкая себестоимость производства и сервисного обслуживания; легкость обучения и переквалификации персонала для работы с такими системами;
- высокая степень безопасности работы, обусловленная 10-кратным запасом прочности относительно небольших емкостей высокого давления импульсных распылительных систем, вывода персонала, пожарных и спасателей из опасной зоны путем создания тоннелей из тонкодисперсно-распыленной воды.

Однако есть еще одна проблема, тесно связанная с внедрением новых средств импульсной защиты. Принятие решений по существующим моделям ликвидации аварии традиционными противопожарными средствами сильно отстает от скорости развития аварии. Кроме того, эти модели не учитывают сложность поверхности (конструктивные особенности промышленных зданий и сооружений, присутствие в помещении преград в виде агрегатов, емкостей, трубопроводов и т. п.), на которой произошла авария, и возможность ошибок при прицеливании, поскольку существующие системы пожаротушения включаются одновременно по всей территории аварийного цеха или подразделения. При применении новых импульсных средств многоплановой защиты данные факторы имеют существенное значение, что и будет показано ниже.

В основу методики определения количества импульсных распылителей как при поверхностной, так и при объемной локализации активного облака или пламени предлагается положить утверждение, что удельная интенсивность влияния или удельная кинетическая энергия фронта локализирующего потока в любой точке помещения не должна быть ниже допустимой величины.

В работе предложен возможный подход к расчету числа импульсных распылителей, исходя из заданных условий химического объекта, характеристик импульсной техники и с учетом вероятности эффективной локализации. В качестве базового принимается вариант локализации аварии в объеме, как более сложный. Тем не менее при условиях, когда хотя бы одна из поверхностей, в пределах которой происходит локализация пожара или токсичного облака, твердая, учитывается усиление формирования обратного вихря, созданного импульсным действием распылителя, что относится к конструктивным особенностям предлагаемых импульсных средств [5].

При локализации активной зоны затраты ОС, относящиеся к ресурсам, X и интенсивность их подачи в каждую точку активной поверхности не должны быть меньше некоторой критической величины FV , которая определяется регламентом объекта (РО) Y и обеспечивает локализацию пожара или взрыва. Эффективность действий в этом случае зависит от реализации полномочий персонала Z .

Предположим, что есть стандартный однолитровый импульсный распылитель (P), расположенный на высоте H в закрытом помещении и заряженный огнетушащей смесью (ОС), которая выбрасывается по закону проникающего наполнения на заданную плоскость поверхности или в объем облака (рис. 1).

Тогда интенсивность действия фронта локализирующего потока можно описать как

$$f(l) = I(l) t_n, \quad (1)$$

где $f(l)$ — удельная интенсивность влияния на очаг поражения фронта локализирующего потока за время t_n ;

l — радиус фронта локализирующего потока;

$I(l)$ — интенсивность влияния фронта локализирующего потока в заданной точке за время t_n .

Пусть элемент активной поверхности* (ЭАП) с достоверностью, близкой к единице, будет локализован при $f(l) \geq f_0$ (f_0 — очаг поражения) за время t_n . Тогда локализация ЭАП будет обеспечена при условии

$$x_c - l_0 \leq x \leq x_c + l_0, \quad (2)$$

где l_0 — зона воздействия локализирующего потока.

* Под элементом активной поверхности понимается площадь, имеющая все свойства активного очага данного класса.

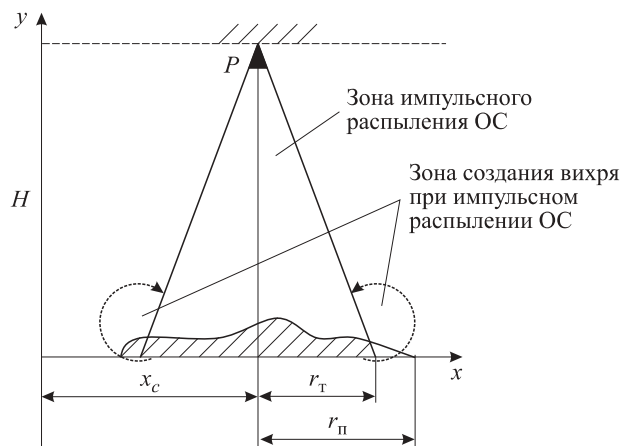


Рис. 1. Расположение стандартного импульсного распылителя: x, y — координаты помещения; r_T — радиус интенсивного тушения; $r_П$ — радиус пожара; x_c — среднее расстояние от центра пожара до ограничивающей поверхности

При условиях $x > x_c + l_0$ и $x < x_c - l_0$ эффективная локализация также будет происходить, но за более длительное время ($t_n + \Delta t$), так как такой процесс происходит за счет всасывания остаточных очагов пламени или облака вихрем, образовавшимся в процессе импульсного распыления ОС.

Рассмотрим схему действия двух импульсных стандартных распылителей, размещенных на заданной высоте (рис. 2). Судя по зоне локализации (см. рис. 2), можно сделать вывод, что затраты ОС при залповом распылении из двух распылителей увеличиваются по сравнению с одним распылителем за счет взаимного перекрытия потоков:

$$f(x) = f_1(x) + f_2(x). \quad (3)$$

Кроме того, из рис. 2 следует, что в случае $f_1 + f_2 \geq f_0$ ЭАП пожара будет локализован, несмотря на то что он расположен вне зоны l_0 . Учет взаимодействия соседних зон увеличивает общую зону эффективной локализации фронтов потоков локализации, что является важным при расчете необходимого количества распылителей для локализации аварии.

Суммарная зона локализации при залповом распылении из двух одинаковых распылителей при соответствующем их расположении больше, чем арифметическая сумма их зон локализации. В связи с этим важно выбрать оптимальное расстояние между распылителями $j_{\max}$ (оптимальный интервал расположения распылителей). При $j > j_{\max}$ и $j < j_{\max}$ суммарная зона локализации будет меньше. Таким образом, наблюдается возникновение как прямого, так и обратного синергетического эффекта [7].

Размеры зоны локализации могут быть получены только исследовательским путем, так как такие зоны индивидуальны для каждого конкретного химического объекта.

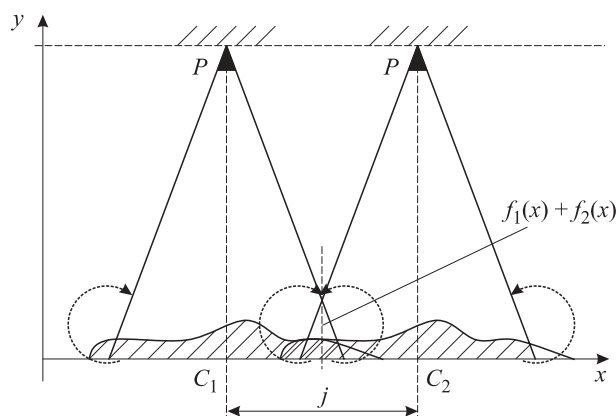


Рис. 2. Схема размещения двух стандартных импульсных распылителей и локализации ими ЭАП

Рассмотренный линейный случай перекрытия двух соседних зон локализации может быть распространен на случай применения более двух распылителей, расположенных в одну линию. Для них также существует оптимальное расстояние между распылителями, при котором суммарная зона локализации будет максимальной. Аналогичный подход используется и в случае локализации объемного облака в трехмерной системе координат.

По результатам разработки ряда моделей, в частности моделирования особенностей расположения и прицеливания импульсных средств, определения их числа и количества ОС в соответствии с особенностями подразделения химического предприятия или отдельного технологического агрегата, с целью обеспечения эффективной локализации и ликвидации аварийной ситуации, недопущения распространения аварии за пределы рабочей зоны предприятия предложено построение трехуровневой системы импульсной взрывопожарной защиты.

Автоматический, автоматизированный и ситуационный уровни такой системы позволят не только быстро локализовать и ликвидировать загорание или выброс химического вещества, но и выиграть время для принятия квалифицированного решения по предупреждению аварии путем превентивных действий.

Автоматическая импульсная подсистема взрывопожарной защиты является первым уровнем предлагаемой системы и реализуется в подразделениях химического предприятия. Главная цель автоматической подсистемы — недопущение выхода события за пределы критических показателей параметров технологического процесса.

Существующие традиционные автоматические системы пожаротушения (АСП), пневматические, гидравлические или газовые, не приспособлены к гибкому управлению и не могут обеспечить выборочное воздействие на тот или иной участок в зависимости от изменения текущих размеров пожара и интенсивности технологического процесса на про-

изводстве, которая определяет степень пожароопасности данного участка. Традиционные АСП тушат одинаково, независимо от того, незначительное возгорание или быстро развивающееся, грозящее перейти в крупный пожар, либо от степени пожароопасности данного участка или объекта, которая постоянно меняется в условиях современного производства.

Предлагаемая автоматическая подсистема базируется на основе соединения нескольких импульсных исполнительных устройств и установок, которые обеспечивают многоплановую комбинированную защиту от пожаров и взрывов по гибко регулируемому алгоритму, включающему серию высокоточных выбросов с заданными параметрами влияния (масштаб, интенсивность, скорость, мощность, продолжительность, равномерность, вид), а также интервалами между последовательными влияниями.

Автоматизированная подсистема включается в тот момент, когда автоматические средства приостановили процесс развития аварии, но не вернули производственную систему предприятия в регламентные границы. Главной целью автоматизированной подсистемы является недопущение перехода аварийной ситуации в полномасштабную аварию. Это — уровень действий как отдельного производственного подразделения, так и предприятия в целом.

Подсистема работает в реальном масштабе времени, ограниченном спецификой управляемого объекта и соответствующем переходу возникшего пожара в аномальное горение. Автоматически получаемые данные (параметры) от системы датчиков — температуры теплового поля, излучения пламени, давления ударной волны, состава газов в воздушной среде — суммируются с помощью комплекса управляющих программ и анализируются. На основе результатов данного анализа вырабатываются команды управления работой исполнительных подсистем. Необходимое быстрое действие системы определяется реальной скоростью распространения пламени или развития других последствий аварии, определяемых по анализу показаний датчиков, в совокупности с реальными, текущими данными из системы управления объектом о пожаровзрывоопасном состоянии охраняемого объекта в целом (например, размещение пожаровзрывоопасных веществ и материалов; режимы технологических процессов и возможности их остановки). На большинстве современных производств (особенно при наличии непрерывной, крупнотоннажной технологии производства пожаровзрывоопасных, токсичных, радиоактивных веществ и материалов или их оборота, в связи с чем создается высокий риск их воспламенения, взрыва, разлива, а также полуфабрикатов или топлива на энергопроизводящих объектах) наиболее актуально обеспечить надежное тушение при стро-

го дозированном распылении минимальных количеств огнетушащих составов и, соответственно, минимальном количестве задействованных исполнительных устройств импульсного распыления ОС, что позволит свести к минимуму нарушение технологического режима.

В автоматизированной подсистеме противопожарной защиты химического предприятия информация от анализирующего блока передается также в центр отображения текущего состояния системы (например, реализации технологии процесса тушения). Этот центр находится на диспетчерском пункте объектовой пожарной части, охраняющей предприятие под наблюдением диспетчера, и представляет собой экран с мнемоническим отображением состояния всей системы. Кроме того, актуальная и точная информация об аварийной ситуации должна передаваться и на центральный пункт управления объектом в целом.

Для реализации эффективной работы автоматизированной импульсной подсистемы взрывопожарной защиты необходимо прохождение следующих команд:

- сигнала на блок оперативной памяти для снятия с учета уже сработавших импульсных исполнительных устройств;
- информации о состоянии объекта на блок связи с Центральным пунктом пожарной связи;
- сигнала и необходимой информации в центр управления химическим предприятием для остановки или изменения режима работы основных и вспомогательных систем, включая сопредельные подразделения;
- аварийного сигнала на отключение энергетических линий или трубопроводов подачи горючих веществ на аварийный участок и т. п.

В случае если при срабатывании всех исполнительных элементов, которые должны были произвести эффективный выброс ОС для локализации аварийной ситуации, необходимый результат не был достигнут, система вынуждена задействовать имеющиеся на объекте инерционные системы тушения — дренчерные, спринклерные, пенные. Причем в базу данных системы взрывопожарной защиты обязательно должна быть предварительно введена информация об огнетушащих параметрах и возможной площади локализации очага исполнительных устройств.

При разработке автоматической и автоматизированной подсистем следует руководствоваться соответствующими нормативными документами.

Анализ практической работы современных АСП показывает, что тушение ими пожаров и возгораний обеспечивается менее чем в 50 % случаев, при этом всегда (в 100 % случаев) защищаемый объект (цех,

объект в целом) заливается пеной или водой либо засыпается порошком с удельным расходом до 100 л/м², что грозит остановкой производственного процесса и длительным ремонтом оборудования. На ряде производств полная остановка процесса производства невозможна, так как это может привести к крупной аварии (заводы нефтепереработки, химического синтеза, особенно производства взрывчатых веществ, ракетных топлив, красителей и т. п.). Как правило, такие производства наиболее пожаровзрывоопасны.

Программы тушения для подсистемы составляются таким образом, чтобы в зависимости от места возникновения пожара на данном объекте вырабатывалась реальная тактика тушения конкретного пожара с учетом действительной скорости его распространения, определяемой по показаниям системы датчиков, существующего технологического режима объекта, насыщенности объекта взрывчатыми, легковоспламеняющимися и токсичными веществами.

Для наиболее эффективного воздействия целесообразно, чтобы самые опасные участки объекта сканировались отдельными группами датчиков. Размер участка определяется с учетом общей пожаровзрывоопасности объекта и диапазона текущих значений потенциальной пожаровзрывоопасности данного участка, дифференцированно по его площади и объему. Входной преобразователь сигналов преобразует сигналы от датчиков до необходимого уровня подачи их на анализирующий блок обработки информации, который совместно с управляющим блоком выдачи командных решений является основой сигнально-пускового блока — специализированного процессора или компьютера. В системе с большим количеством датчиков наиболее эффективно и экономически выгодно применять стандартные модули связи с объектом.

На третьем (ситуационном) уровне импульсной взрывопожарной защиты химического предприятия, который начинает работать еще на стадии получения сигналов о выходе технологического процесса за границы допустимого уровня, происходит передача управления ситуацией на объекте макросистеме.

Целью ситуационной подсистемы импульсной взрывопожарной защиты химического объекта является недопущение перехода аварии в катастрофу, распространения аварии за пределы рабочей площадки; локализация и ликвидация аварии исходя из ситуации на предприятии с привлечением лиц, принимающих решения, со стороны предприятия, но под руководством лиц, принимающих решения, на уровне макросистемы.

Ситуационная подсистема требует определенных средств системы поддержки принятия решений для получения, обработки и прогнозирования возмож-

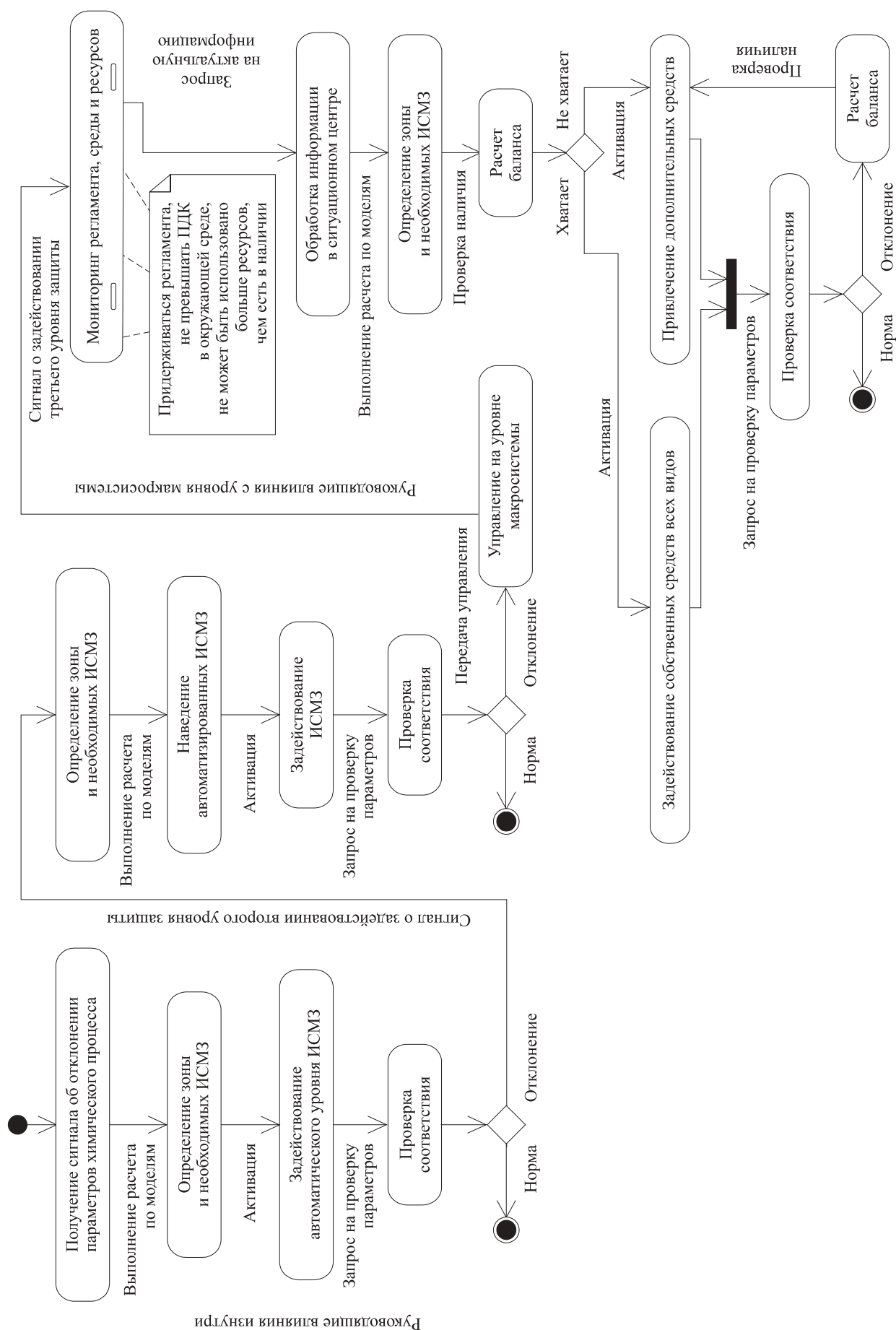


Рис. 3. Диаграмма состояний UML для ИТ управления импульсной взрывопожарной защитой

ных вариантов развития аварийной ситуации; определения границ катастрофического влияния; моделирования необходимых действий и контроля за выполнением принятых решений.

Все изложенное можно представить в виде схемы реализации информационной технологии (ИТ) управления импульсной взрывопожарной защитой химического предприятия в виде диаграммы состояний UML (рис. 3).

Таким образом, можно отметить, что новая система позволит объективно оценивать по показаниям датчиков масштаб возгорания, а по информации от автоматической системы управления технологическим процессом — реальное текущее значение степени пожароопасности на участке, где произошло возгорание, или потенциальную возможность развития других последствий аварии и на основе оценки, соответственно, вводить в действие оптимальное в каждом конкретном случае количество исполнительных импульсных устройств, распыляющих залпом огнетушащие или защитные составы только на требуемую площадь.

В целом можно указать, что представленная диаграмма состояний UML отражает определенный цикл процедур, в соответствии с которым можно выбрать решение в сложившейся на предприятии ситуации. Цикл охватывает не только процедуры анализа, внесения изменений и адаптации объекта, но и обязательно предусматривает обратную связь, которая позволяет получить информацию о состоянии системы после внесения изменений. Обратная связь является одним из основных требований при использовании технологии ситуационного управления, поскольку является контрольной процедурой проверки качества принятых решений.

Выводы

Таким образом, система импульсной взрывопожарной защиты химического предприятия не может быть ограничена лишь моделированием обеспечения предприятия необходимыми средствами. Такое представление информации не отвечает требованию комплексности ППР, которое необходимо удовлетворить в процессе принятия обоснованного решения. В частности, для принятия квалифицированного решения потребуется следующая информация:

- характеристика химического объекта и детальное описание обращающихся на нем сильнодействующих опасных веществ;
- возможные сценарии развития аварии в зависимости от метеорологических условий зоны, в которой расположено химическое предприятие, в любой момент времени;
- действия персонала, принимающего решение на разных уровнях управления — с момента выхода показателей за пределы РО до момента их возвращения в пределы РО;
- экономические и технологические преимущества комбинированного применения импульсной и традиционной взрывопожарозащитной техники для решения задач оптимального задействования сил и средств.

Предложенное построение трехуровневой системы импульсной взрывопожарной защиты химического предприятия может быть взято за основу при разработке информационной технологии поддержки принятия решений по обеспечению управления безопасностью любого потенциально опасного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захматов В. Д., Щербак Н. В. Личное оружие пожарного для тушения пожаров в лесу, небоскребах и зонах катастроф // Пожарная безопасность в строительстве. — 2011. — № 3. — С. 58–65.
2. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2000. — 482 с.
3. Моторыгин Ю. Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / Под общ. ред. В. С. Артамонова. — СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2011. — 400 с.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств. — М.: Мир, 1989. — 671 с.
5. Захматов В. Д. Техника многоплановой защиты. — М.: ИПМ им. М. В. Келдыша АН СССР, 1991. — 124 с.
6. Захматов В. Д. Теоретические основы разработки импульсной техники пожаротушения и многоплановой защиты. — Киев: Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, 1994. — 72 с.
7. Кряжич О. А. Экономико-математическое моделирование при обосновании модернизации предприятий: поиск синергетического эффекта // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: Збірник доповідей наук.-практ. конф. з міжнар. участю. — Київ: ППМС НАНУ, 2009. — С. 59–62.

Материал поступил в редакцию 26 ноября 2012 г.

MODELS OF CONTROL OF PULSE PROTECTION AGAINST EXPLOSIONS AND FIRES AT THE CHEMICAL ENTERPRISE

KRYAZHICH Olga Aleksandrovna, Low Research Assistant, Competitor, Institute of Telecommunications and Global Information Space of Ukraine Academy of Sciences (Chokolovskiy Parkway, 13, Kiyev 03186, Ukraine; e-mail address: economconsult@gmail.com)

ZAKHMATOV Vladimir Dmitriyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Main Research Assistant, Institute of Telecommunications and Global Information Space of Ukraine Academy of Sciences (Chokolovskiy Parkway, 13, Kiyev 03186, Ukraine; e-mail address: zet.pulse@gmail.com)

ABSTRACT

Modern conditions of functioning potentially dangerous industry objects in Ukraine and in other CIS countries allow to allocate the basic problems. These problems at these enterprises can result in the raised danger of occurrence of fires and explosions. The decision of these problems of application of modern information technologies of support of decision-making demands. It is necessary for comparison of available resources agree to data about an enterprise condition to represent. Thus time restriction is available.

Article purpose: search of approaches to working out of models of support of reliable protection against explosion and a fire at the chemical enterprises by pulse means taking into account possible scales of crisis.

As a result of research the possible approach to calculation of number of pulse sprays is offered. This approach also characteristics of pulse technics and taking into account probability of effective localisation is based on the set conditions of chemical object. Also on purpose not to allow failure distributions for limits of a working zone of the enterprise construction of three-level system of pulse protection against explosion and a fire it is offered. The diagramme of conditions UML is presented. It for a decision choice in the circumstances reflects a certain cycle of procedures.

Conclusions about prospects of the further research of the given subjects are made.

Keywords: model; pulse systems; fire and explosion protection; function.

REFERENCES

1. Zakhmatov V. D., Shcherbak N. V. Lichnoye oruzhiye pozharnogo dlya tusheniya pozharov v lesu, neboskrebakh i zonakh katastrof [Personal arm of fireman for extinguishing of fires in wood, skyscrapers and accident areas]. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve — Fire Safety in Building*, 2011, no. 3, pp. 58–65.
2. Brushlinskiy N. N., Korolchenko A. Ya., eds. *Modelirovaniye pozharov i vzryvov* [Modelling of fires and explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000. 482 p.
3. Motorygin Yu. D. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov vozniknoveniya i razvitiya pozharov: monografiya*. Pod obshch. red. V. S. Artamonova [Mathematical modelling of processes of occurrence and development of fires: monography. By ed. V. S. Artamonova]. St.-Petersburg, St.-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2011. 400 p.
4. Marshall V. *Osnovnyye opasnosti khimicheskikh proizvodstv* [The basic dangers of chemical manufactures]. Moscow, Mir Publ., 1989. 671 p.
5. Zakhmatov V. D. *Tekhnika mnogoplanovoy zashchity* [Technics of multiplane protection]. Moscow, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Academy of Sciences of the USSR, 1991. 124 p.
6. Zakhmatov V. D. *Teoreticheskiye osnovy razrabotki impulsnoy tekhniki pozharotusheniya i mnogoplanovoy zashchity* [Theoretical bases of working out of pulse technics of suppression of fires and multiplane protection]. Kiyev, Frantsevich Institute for Problems of Ukraine National Academy of Science, 1994. 72 p.
7. Kryazhych O. A. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye pri obosnovanii modernizatsii predpriyatiy: poisk sinergeticheskogo effekta [Economic-mathematical modelling at a substantiation of modernisation of the enterprises: search of effect of a synergy]. *Sistemi pidtrimki priynyattya rishen. Teoriya i praktika: zbirnik dopovidey nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastyu* [Systems of support of decision-making. The theory and practice: collected reports of scientific and practical conference with the international participation]. Kiyev, Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of Ukraine National Academy of Science, 2009, pp. 59–62.

**ВОПРОС:**

Сейчас можно строить здания со сплошным наружным остеклением по всей его высоте. Как при этом соблюдаются требования норм к пределу огнестойкости наружных стен?

ОТВЕТ:

Действительно, в противопожарных нормах есть требования по пределу огнестойкости наружных стен, а наружное остекление окон не нормируется. Но существует требование о пересечении наружного остекления или примыкании к нему (без воздушных зазоров) междуэтажных перекрытий или противопожарных перекрытий, разделяющих здания на пожарные отсеки по вертикали, в местах расположения стен лестничных клеток. В московских строительных нормах по высотным зданиям, которые действуют более 20 лет (МГСН 1-91, МГСН 4.04-94, МГСН 4.19-2005), предел огнестойкости навесных остекленных панелей, устанавливаемых на перекрытиях, оценивается 30 мин. Для предотвращения перехода огня по вертикали согласно МГСН 4.19-2005 требуется предусматривать несгораемые козырьки шириной 75 см в уровне противопожарных перекрытий, разделяющих здание по высоте на пожарные отсеки, и защиту оконных проемов. Можно сожалеть, что до настоящего времени в России не разработаны федеральные нормы по высотным зданиям (жилые — более 70 м, общественные — более 50–55 м). Международные строительные нормы по высотным зданиям уже существуют.

**ВОПРОС:**

В журнале “Пожаровзрывобезопасность” за 2012 г. была опубликована статья о поджогах в России в XIX веке. А есть ли статистика по количеству пожаров, связанных с поджогами, по СССР и по Российской Федерации?

ОТВЕТ:

В СССР было зарегистрировано следующее количество пожаров, возникших в результате поджогов:

- 9-я пятилетка — 32315;
- 10-я пятилетка — 31203;
- 11-я пятилетка — 36667.

В 1989 г. был зарегистрирован 10951 поджог. В среднем количество поджогов составляло около 6,9 % от общего количества пожаров.

В Российской Федерации статистика поджогов за 1993 и 1994 гг. такая: 1993 г. — 20109, или 6,05 % от общего числа пожаров; 1994 г. — 23414, или 7,2 % от общего числа пожаров. По утверждениям специалистов число установленных поджогов значительно меньше их реального числа. В связи с этим обращает на себя внимание большое число пожаров, происшедших по неустановленным причинам: 1993 г. — 67278; 1994 г. — 57233. Возможно, это связано с нежеланием докапываться до истинной причины возгораний (по экономическим, административным или политическим мотивам). Возбуждение уголовного дела

по статье Уголовного кодекса о поджоге не сулило его скорого разрешения и могло превратиться в “висяк” (нераскрытое преступление). Все вышесказанное можно отнести и к громким в прошлом пожарам (несмотря на явные признаки поджога) в гостинице “Россия” (1977 г.), на заводе двигателей КамАЗ (1994 г.), в Самарском УВД (2009 г.). Это отмечалось даже в средствах массовой информации (статья “Поджог на полтриллиона” в газете “Аргументы и факты”, № 25 (662) от 25.06.1993 г.).

Ответы подготовил ветеран пожарной охраны
Н. Г. КЛИМУШИН

**ВОПРОС:**

Какие нормативные документы регламентируют необходимость применения молниезащиты на объектах со взрывоопасной технологией?

ОТВЕТ:

В нашей стране ситуация с нормативной базой документов по обеспечению молниезащиты объектов имеет большие недоработки в отличие от ситуации за рубежом: Международная электротехническая комиссия (IEC) выпустила в 2010 г. обновленную серию из четырех стандартов IEC 62305 по молниезащите.

В настоящее время существуют два нормативных документа, на основе которых можно проектировать систему молниезащиты для объектов со взрывоопасной технологией. Это “Инструкция по молниезащите зданий и сооружений” РД 34.21.122-87 [1] и “Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций” СО 153-34.21.122-2003 [2].

Инструкция СО 153-34.21.122-2003 [2] была разработана на основе отдельных разделов зарубежных стандартов МЭК 61312-1 “Защита от импульсного перенапряжения. Общие положения” и МЭК 61024-1 “Молниезащита зданий и сооружений. Общие положения”. При этом вопросы, связанные с защитой пожаровзрывоопасных объектов от вторичных воздействий молнии, рассмотрены в ней очень сжато, что не позволяет в полной мере обеспечить безопасность таких объектов [3]. В частности, отсутствуют практические рекомендации по использованию устройств защиты от импульсных перенапряжений, что является наиболее важным вопросом защиты объектов со взрывоопасной технологией, нежели вопросы защиты от прямых ударов молнии.

Важно также отметить, что в соответствии со ст. 4 п. 3 Федерального закона “О техническом регулировании” № 184-ФЗ [4] федеральные органы исполнительной власти вправе издавать в сфере технического регулирования акты (документы) только рекомендательного характера. К такому типу документов относится инструкция СО 153-34.21.122-2003 [2]. В то же время приказ Минэнерго России от 30.06.2003 г. № 280 не отменяет действие инструкции РД 34.21.122-87 [1].

Рекомендательный характер носят и корпоративные инструкции по молниезащите таких крупных организаций, как ОАО “Газпром” [5], ОАО “АК “Транснефть” [6] и др.

Таким образом, проектирование и применение молниезащиты на объектах со взрывоопасной технологией необходимо осуществлять по положениям СО 153-34.21.122–2003 [2], РД 34.21.122–87 [1] или их комбинации [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.87 г.; введ. 12.10.87 г. — М. : Энергоатомиздат, 1989.
2. СО 153-34.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : приказ Минэнерго России от 30.06.2003 г. № 280; введ. 30.06.2003 г. — М. : Изд-во МЭИ, 2004.
3. Кузнецов М. Б., Матвеев М. В., Носков С. Н. Инструкция по устройству молниезащиты добавила проблем проектировщикам // Новости электротехники. — 2008. — № 2(50).
4. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.;

одобр. Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245 (в ред. Федер. закона от 28.07.2012 г. № 133-ФЗ).

5. СТО Газпром 2-1.11-170–2007. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО “Газпром” : распоряжение ОАО “Газпром” от 15.10.2007 г. № 337; введ. 25.03.2008 г. — М. : ИРЦ Газпром, 2007.

6. РД 91.020.00-KTH-276–07. Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций ОАО “АК “Транснефть” и дочерних акционерных обществ : приказ ОАО “АК “Транснефть” от 01.10.2007 г.; введ. 01.10.2007 г. — М. : ОАО “АК “Транснефть”, 2007.

7. Разъяснение Управления по надзору в электроэнергетике Ростехнадзора о совместном применении “Инструкции по молниезащите зданий и сооружений” (РД 34.21.122–87) и “Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций” (СО 153-34.21.122–2003) : письмо от 01.12.2004 г. № 10-03-04/182; введ. 01.12.2004 г. URL : <http://www.stroyplan.ru/docs.php>.

Ответ подготовили преподаватели кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ
В. Н. ЧЕРКАСОВ и А. С. ХАРЛАМЕНКОВ



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины “Основы безопасности жизнедеятельности” в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; 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 (izdat_pozhnauka@mail.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 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 не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться 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 (полностью, на русском языке и транслитерация). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences, Prospekt Vernadskogo, 101, 119526 Moscow, Russian Federation.

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

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

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

- содержательным (должно излагать существенные факты и результаты работы и не должно преувеличивать или включать материал, который отсутствует в основной части публикации);

- структурированным (следовать логике описания результатов в публикации);

- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);

- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

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

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. 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 общепотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке.

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на языке оригинала. 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.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii "stal"—kompozit [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MG TU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem"* [Proc. of the Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems"], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

GOST 8.586.5–2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkosti i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv* [State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

или

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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. 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.

4. 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 создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

5. 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.

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

8. Плата с аспирантов за публикацию работ не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства СИСТЕМ ОХРАННОЙ И ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

А.Н. ЧЛЕНОВ, Т.А. БУЦЫНСКАЯ, И.Г. ДРОВНИКОВА. — Ч. 1. — 316 с.
В.П. БАБУРОВ, В.В. БАБУРИН, В.И. ФОМИН. — Ч. 2. — 300 с.

В учебно-справочном пособии рассмотрены общие вопросы построения систем охранной сигнализации, приведены сведения об основных видах технических средств, составляющих систему: извещателях, приемно-контрольных приборах, системах передачи извещений, оповещателях и блоках питания. Рассмотрены современное состояние рынка средств охранной сигнализации и тенденции его развития.

Большое внимание уделено вопросам проектирования систем охранной сигнализации, требованиям по их монтажу и технической эксплуатации. Рассмотрены особенности применения средств сигнализации в пожаро- и взрывоопасных зонах.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

ЭЛ. ПОЧТА:
mail@firepress.ru;
izdat_pozhnauka@mail.ru

Телефон:
(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.

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты (электронная версия).** — 2011. Цена — 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".** — 2010. — 150 с. Цена — 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов:** учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена — 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства:** монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена — 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов.** — 2000. — 492 с. Цена — 540 руб.
- 6 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва:** учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена — 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.** — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена — 250 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума:** учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена — 350 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума:** учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена — 300 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты.** — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена — 540 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты.** — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение.** — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена — 140 руб.
- 13 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций.** — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена — 240 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов.** — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена — 450 руб.
- 15 СМЕЛКОВ Г. И. **Пожарная безопасность электропроводок.** — 2009. — 328 с. — ISBN 978-5-9901554-2-8. Цена — 540 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах:** справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена — 300 руб.
- 17 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Справочник спасателя-пожарного.** — 2006. — 528 с. — ISBN 5-91017-019-8. Цена — 385 руб.
- 18 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ШАДРИН К. В. **Основы пожарного дела:** учебное пособие. — 2006. — 328 с. — ISBN 5-91017-016-3. Цена — 390 руб.
- 19 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок:** учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена — 470 руб.
- 20 ЧЛЕНОВ А. Н., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ДРОВНИКОВА И. Г., БАБУРОВ В. П., БАБУРИН В. В., ФОМИН В. И. **Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации:** учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; ч. 2. — 300 с. — ISBN 978-5-91444-008-1. Цена — 950 руб.
- 21 **Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия.** Цена — 980 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах:** пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена — 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий:** справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена — 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро:** учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена — 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады.** — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена — 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов:** учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена — 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел./факс: (495) 735-28-13, (495) 228-09-03, 8-909-940-63-94; e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru; www.firepress.ru, www.fire-smi.ru.

■ В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:

- 1) название организации полностью;
- 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
- 3) наименование и количество заказываемой литературы;
- 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
- 5) способ доставки: самовывоз или почтовая.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е (2-е) полугодие 2013 г.

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2013 г.)	4950		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 735-28-13 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-63-94**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

**через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);**

**через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”**

The MIPS Moscow logo is located in the bottom right corner. It features a large, bold, black letter 'M' followed by the word 'ips' in a red, lowercase, sans-serif font. Below 'ips' is the word 'MOSCOW' in a smaller, black, uppercase, sans-serif font.

Москва, ВВЦ, 75 павильон



**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.
ОХРАНА ТРУДА**

с 2013 года на ВВЦ!



- системы аварийно-пожарного оповещения
- автоматические системы пожаротушения
- системы жизнеобеспечения
- приборы приемно-контрольные пожарные
- извещатели пожарные
- огнетушители пожарные
- огнетушащие вещества
- огнезащитные и взрывозащитные материалы
- пожарная автоматика, роботы
- пожарный инвентарь и оборудование
- аварийно-спасательное оборудование
- спецодежда

Генеральный
партнер выставки:



Тел.: +7 (495) 935 7350
Факс: +7 (495) 935 7351
security@ite-expo.ru



МВД России



www.mips.ru

РЕКЛАМА