

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

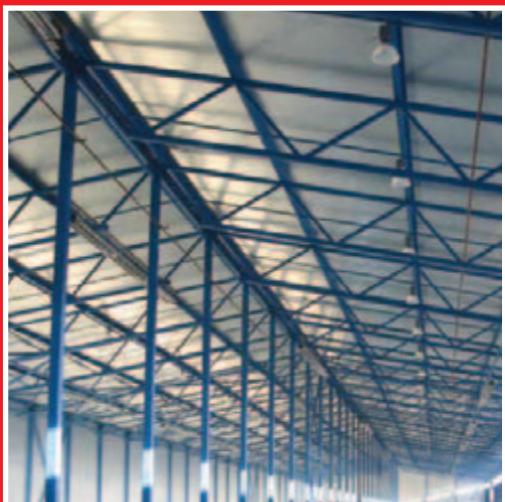
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2'2010

Нормативное регулирование независимой оценки пожарного риска, декларирования пожарной безопасности

Некоторые особенности термогазодинамической картины пожара в высоких помещениях

Моделирование формирования взрывоопасного облака при испарении с поверхности аварийного пролива нефти



Использование сэндвич-панелей в качестве эффективных легкосбрасываемых конструкций при внутренних взрывах в промышленных зданиях

Количественный критерий классификации аварийных газовых выбросов

Описание и прогнозирование температур вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно-группового метода

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 19 • № 2 • 2010 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

Журнал издается с 1992 г. Выходит 12 раз в год

The Journal of the Russian Association
for Fire Safety Science ("Pozhnauka")

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Колесников П. П. Нормативное регулирование независимой оценки пожарного риска (аудита пожарной безопасности), декларирования пожарной безопасности

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Экспериментальное исследование влияния формы нагретой частицы на характеристики зажигания жидкых топлив

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Описание и прогнозирование температур вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно-группового метода

Русинова Е. В., Евтиюхов С. А. Исследование термодинамической совместимости дибутилфталата с каучуками — компонентами твердотопливных систем

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Галеев А. Д., Поникаров С. И. Моделирование формирования взрывоопасного облака при испарении с поверхности аварийного пролива нефти

Пузач С. В., Абакумов Е. С. Некоторые особенности термогазодинамической картины пожара в высоких помещениях

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Якуш С. Е., Махвиладзе Г. М. Количественный критерий классификации аварийных газовых выбросов

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Горев В. А., Салымова Е. Ю. Использование сэндвич-панелей в качестве эффективных легкосбрасываемых конструкций при внутренних взрывах в промышленных зданиях

Подольская А. С., Ершов Д. В. Геоинформационная технология актуализации данных территориального деления лесного фонда для мониторинга пожарной опасности

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

Киселев В. В., Топоров А. В., Пучков П. В. Повышение надежности и работоспособности пожарной техники применением новых смазочных композиций

Подзирей Ю. С. Двигатель и двигатель противопожарной летающей платформы

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

2 Kolesnikov P. P. Normative Regulation of Independent Estimation of Fire Risk (Fire Safety Audit), Fire Safety Awoyal

COMBUSTION PROCESSES

11 Kuznetsov G. V., Zaharevich A. V., Maksimov V. I. Experimental Research of Heated Particle Form Influence on Ignition Characteristics of Liquid Fuels

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

15 Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Description and Prediction of Flash Temperature of Esters within the Limits of Additive-Group Method

19 Rusinova E. V., Evtyuhov S. A. The Investigation of Thermodynamical Compatibility of the Plasticizer and Rubbers — Components of the Solid-Fuel Elements

FIRE MODELING

22 Galeev A. D., Ponikarov S. I. Modeling of Generation Explosive Cloud under Evaporation from Oil Surface Spill

28 Puzach S. V., Abakumov E. S. Some Characteristics of Thermogas Dynamic Fire Pattern in High Premises

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

34 Yakush S. E., Makhviladze G. M. Quantitative Criterion for Classification of Accidental Gas Releases

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

41 Gorev V. A., Salymova Ye. Yu. Usage of Sandwich-Panels as Effective Easily Jettisonable Constructions by Inside Combustions in Industrial Buildings

45 Podolskaya A. S., Yershov D. V. Geoinformation Technology of Actualization of the Forest Resources Territorial Differentiation Data for Fire Risk Monitoring

FIRE ENGINEERING

50 Kiselev V. V., Toporov A. V., Puchkov P. V. Increasing of the Reliability and Functionality of Fire Equipment by Using of the New Lubricating Compositions

54 Podziray Yu. S. Propelling and Engine of Fire Prevention Flying Platform

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

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.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Перепечатка материалов только по согласованию с редакцией. Авторы несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати.



П. П. Колесников

начальник отдела проектирования и экспертизы
Научно-экспертного бюро пожарной, экологической
безопасности и безопасности при чрезвычайных
ситуациях в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко,
г. Москва, Россия

УДК 614.841

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НЕЗАВИСИМОЙ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА (АУДИТА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ), ДЕКЛАРИРОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Приводится информация о независимой оценке пожарного риска (аудите пожарной безопасности), декларировании пожарной безопасности, предусмотренных Федеральным законом "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Ключевые слова: независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности), декларация пожарной безопасности.

1. Формы оценки соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности

В статье 144 "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" предусматривается девять форм оценки соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности, а именно:

- 1) аккредитация;
- 2) независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности);
- 3) государственный пожарный надзор;
- 4) декларирование пожарной безопасности;
- 5) исследования (испытания);
- 6) подтверждение соответствия объектов защиты (продукции);
- 7) приемка и ввод в эксплуатацию объектов защиты (продукции), а также систем пожарной безопасности;
- 8) производственный контроль;
- 9) экспертиза.

Одна или несколько из вышеперечисленных форм оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности могут быть применимы в зависимости от объекта защиты (продукции).

Аkkредитация может быть применима:

- при аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия продукции требованиям пожарной безопасности, согласно статьям 147 и 148 "Технического
- регламента о требованиях пожарной безопасности", Постановлению Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2009 г. № 373 "Об органе по аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия продукции требованиям пожарной безопасности", приказу МЧС России от 18 июня 2003 г. № 312 "Об утверждении Положения о Системе сертификации в области пожарной безопасности в Российской Федерации и Порядка проведения сертификации продукции в области пожарной безопасности Российской Федерации" и другим нормативным документам по пожарной безопасности;
- при добровольной аккредитации организаций, осуществляющих деятельность в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и обеспечения пожарной безопасности, согласно приказу МЧС России от 20 ноября 2007 г. № 607 "Об утверждении Порядка добровольной аккредитации организаций, осуществляющих деятельность в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и обеспечения пожарной безопасности", а также приказу МЧС России от 13 марта 2008 г. № 119 "О мерах по реализации приказа МЧС России от 20 ноября 2007 г. № 607";
- при других видах аккредитации.

Исследования (испытания) могут быть применими:

- при подтверждении соответствия пожарно-технической продукции и продукции общего назначения требованиям пожарной безопасности (часть 13 статьи 146 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”);
- при проведении исследований (испытаний и измерений) характеристик систем предотвращения пожаров (часть 3 статьи 48 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”);
- при других видах исследований (испытаний).

Подтверждение соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности может быть применимо к объектам защиты (продукции) общего назначения и пожарной технике согласно статьям 145–150 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”.

В связи с этим законодателем была предусмотрена норма (часть 8 статьи 6 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”), в соответствии с которой для пожарно-технической продукции и продукции общего назначения разработка декларации пожарной безопасности не требуется.

Приемка и ввод в эксплуатацию объектов защиты (продукции), а также систем пожарной безопасности применимы при вводе в эксплуатацию объектов капитального строительства согласно статьям 51 и 55 “Градостроительного кодекса Российской Федерации”, Постановлению Правительства Российской Федерации от 23 мая 2009 г. № 441 “О федеральном органе исполнительной власти, уполномоченном на выдачу разрешений на строительство и разрешений на ввод в эксплуатацию объектов капитального строительства”.

Производственный контроль в части обеспечения требований пожарной безопасности производственного процесса применим на различных производственных объектах в соответствии с требованиями действующего законодательства, например статьи 11 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ “О промышленной безопасности опасных производственных объектов”; статьи 22 Федерального закона от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ “О качестве и безопасности пищевых продуктов”; статьи 20 Федерального закона от 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ “Технический регламент на молоко и молочную продукцию”; статьи 17 Федерального закона от 24 июня 2008 г. № 90-ФЗ “Технический регламент на масложировую продукцию” и др.

Экспертиза в части обеспечения требований пожарной безопасности может осуществляться, например, в форме:

- государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий

согласно части 11 статьи 49 “Градостроительного кодекса Российской Федерации”, статье 39 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”, Постановлению Правительства Российской Федерации от 5 марта 2007 г. № 145 “О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий”, Постановлению Правительства Российской Федерации от 1 февраля 2006 г. № 54 “О государственном строительном надзоре в Российской Федерации”;

- негосударственной экспертизы результатов инженерных изысканий и проектной документации согласно статье 50 “Градостроительного кодекса Российской Федерации”, статье 41 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”;
- судебной пожарно-технической экспертизы по постановлению суда, следователя, дознавателя в соответствии с главой III (производство судебной экспертизы в государственном судебно-экспертном учреждении), со статьей 41 (судебно-экспертная деятельность лиц, не являющихся государственными судебными экспертами) Федерального закона от 31 мая 2001 г. № 73-ФЗ “О государственной судебно-экспертной деятельности”;
- независимого расследования пожаров на предприятиях всех форм собственности в соответствии со статьей 37 Федерального закона от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ “О пожарной безопасности”;
- в других видах экспертизы.

На вопросах нормативного регулирования таких форм оценки соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности, как государственный пожарный надзор (пункт 3 части 1 статьи 144 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”), независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности) (пункт 2 части 1 статьи 144) и декларирование пожарной безопасности (пункт 4 части 1 статьи 144), мы остановимся более подробно.

2. Государственный пожарный надзор на объектах защиты

Государственный пожарный надзор (ГПН) осуществляется в нашей стране более 80 лет. Точкой отсчета в истории возникновения Государственно-го пожарного надзора стало подписание 18 июля 1927 г. Всероссийским Центральным Исполнительным Комитетом и Советом Народных Комиссаров “Положения об органах Государственного пожар-

ного надзора в РСФСР”, проект которого был разработан на Всероссийском совещании пожарных в мае 1926 г.

На органы ГПН были возложены функции разработки противопожарных мероприятий в области предупреждения пожаров и их тушения; надзор за состоянием пожарной безопасности организаций; техническая нормализация пожарного инвентаря, снаряжения и оборудования; руководство делом автоматического огнетушения и пожарной сигнализации; рассмотрение уставов добровольных пожарных организаций и содействие развитию пожарно-технического образования в стране.

Началось планомерное осуществление профилактических мероприятий: на всех крупных промыслах и предприятиях стали проводиться пожарно-технические обследования. Вопросы пожарной безопасности стали предметом широкой агитации и пропаганды. В цехах, на предприятиях, в жилом секторе создавались специальные ячейки по предупреждению пожаров и борьбы с ними, а в Ленинграде на базе Института инженеров коммунального строительства был образован факультет инженеров противопожарной обороны, который начал готовить первых пожарных специалистов.

Впервые праздник отмечался всеми сотрудниками органов ГПН в 2007 г. Ранее, как правило, территориальные органы ГПН отмечали этот праздник самостоятельно. Так, в 1997 г. УГПС ГУВД Санкт-Петербурга и Ленинградской области выпустило памятный знак “70 лет Государственному пожарному надзору”, который был вручен также и автору настоящей статьи бывшим в тот период времени начальником УГПС ГУВД Санкт-Петербурга и Ленинградской области полковником внутренней службы А. П. Чуприяном, который в настоящее время уже в звании генерал-полковника внутренней службы является заместителем министра МЧС России.

В настоящее время порядок осуществления государственного пожарного надзора регламентирован приказом МЧС России от 1 октября 2007 г. № 517 “Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по исполнению государственной функции по надзору за выполнением федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, организациями, а также должностными лицами и гражданами установленных требований пожарной безопасности” (зарегистрирован в Минюсте России 31 октября 2007 г. № 10424) в редакции приказа МЧС России от 14 ноября 2008 г. № 688.

Оценка соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности в форме государственного пожарного надзора осуществляется в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Так, в соответствии с частью 2 статьи 9 Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ “О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля” плановые проверки проводятся не чаще чем один раз в три года. При этом плановая проверка проводится в форме документарной и (или) выездной проверки.

О проведении плановой проверки юридическое лицо, индивидуальный предприниматель уведомляются органом ГПН не позднее чем за **3 рабочих дня** до начала ее проведения посредством направления копии распоряжения или приказа руководителя, заместителя руководителя органа ГПН о начале проведения плановой проверки заказным почтовым отправлением с уведомлением о вручении или иным доступным способом.

Законом от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ (статья 10), помимо плановых проверок, предусмотрены также внеплановые проверки, основанием для проведения которых является:

1) истечение срока исполнения юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем ранее выданного предписания об устранении выявленного нарушения обязательных требований и (или) требований, установленных муниципальными правовыми актами;

2) поступление в органы ГПН обращений и заявлений граждан, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, информации от органов государственной власти, органов местного самоуправления, из средств массовой информации о следующих фактах:

а) возникновении угрозы причинения вреда жизни, здоровью граждан;

б) причинении вреда жизни, здоровью граждан;

в) нарушении прав потребителей (в случае обращения граждан, права которых нарушены).

3. Независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности)

Альтернативным государственному пожарному надзору способом подтверждения соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности является независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности).

Это положение закреплено в пункте 25 “Административного регламента МЧС России”, утвержден-

денного приказом МЧС России от 1 октября 2007 г. № 517, в котором указано, что в случае проведения независимой оценки рисков в области пожарной безопасности на объектах надзора, выполненной аккредитованной в установленном порядке организацией, органами ГПН **мероприятия по надзору** в отношении этих объектов **не планируются**.

Собственникам объектов защиты действующим законодательством предоставлено право альтернативы в выборе одной из форм оценки соответствия зданий, сооружений, помещений объектов защиты требованиям пожарной безопасности, а именно: либо традиционной формы государственного пожарного надзора (пункт 3 части 1 статьи 144 "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности"), требующего выполнения обязательных требований пожарной безопасности, установленных Техническим регламентом, либо формы независимой оценки пожарного риска (аудита пожарной безопасности) согласно пункту 2 части 1 статьи 144 Технического регламента, т. е. право выбора между государственной формой оценки соответствия и негосударственной.

Здесь необходимо также учитывать, что согласно **пункту 2 части 1 статьи 144** "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" порядок оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем **независимой оценки пожарного риска** устанавливается нормативными правовыми актами Российской Федерации, в том числе:

постановлением Правительства Российской Федерации от 7 апреля 2009 г. № 304 "Об утверждении Правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска";

приказом МЧС России от 20 ноября 2007 г. № 607 "Об утверждении Порядка добровольной аккредитации организаций, осуществляющих деятельность в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и обеспечения пожарной безопасности".

Здесь важно учитывать и то обстоятельство, что независимую оценку пожарного риска (аудит пожарной безопасности) вправе выполнять только организация, аккредитованная в МЧС России в соответствии с требованиями приказа МЧС России от 20 ноября 2007 г. № 607.

Процедура выполнения независимой оценки пожарного риска (аудита пожарной безопасности) должна предусматриваться в Руководстве по качеству организации, аккредитованной в МЧС России. Содержание данного Руководства должно соответствовать требованиям приложения к приказу МЧС

России от 20 ноября 2007 г. № 607. В частности, **Руководство по качеству** должно содержать следующие разделы и сведения:

- 1) заявление о политике в области качества осуществления работ по оценке рисков на имущественных комплексах или их части юридических или физических лиц (включая территории, технологические установки, оборудование, агрегаты, здания, сооружения, изделия, продукцию, транспортные средства, средства обеспечения пожарной безопасности, сооружения гражданской обороны и иное имущество), находящихся в стадии проектирования, строительства (реконструкции, расширения, технического перевооружения, консервации, ликвидации), эксплуатации (далее — объект защиты), а также при осуществлении деятельности в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и обеспечения пожарной безопасности;

- 2) порядок и сроки повышения квалификации специалистов, занятых в работах по оценке рисков;

- 3) должностные инструкции персонала, определяющие его служебные обязанности и ответственность;

- 4) организационную схему, отражающую подчиненность, ответственность и распределение обязанностей персонала;

- 5) процедуру оценки рисков, включая:

а) этапы оценки рисков:

прием и рассмотрение заявлений (заявлений) на оценку рисков;

заключение договора на проведение оценки рисков;

подготовку и утверждение программы проведения оценки рисков и персонального состава экспертной группы;

обследование объекта защиты;

подготовку документации по оценке рисков и выдачу заключения на объект защиты, а при необходимости — плана устранения недостатков, выявленных в ходе оценки рисков, который является неотъемлемой частью заключения;

контроль за выполнением плана устранения недостатков, выявленных при проведении оценки рисков;

регистрацию заключений по оценке рисков в МЧС России или государственном учреждении, находящемся в его ведении;

ведение реестра выданных заключений по оценке рисков;

направление в заинтересованные органы государственного надзора информации о нарушениях, выявленных на объекте защиты при проведении

оценки рисков и создающих угрозу жизни и здоровью людей;

б) порядок подготовки заключения по оценке рисков:

о соответствии (несоответствии) объекта защиты установленным законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации требованиям в области гражданской обороны и (или) защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и (или) обеспечения пожарной безопасности,

либо обосновывающего (подтверждающего) приемлемый (неприемлемый) уровень риска для жизни и здоровья людей, имущества при эксплуатации объекта защиты вследствие возможного воздействия на них опасных факторов пожаров, чрезвычайных ситуаций;

в) немедленное информирование соответствующих органов государственного надзора при выявлении в ходе оценки рисков недостатков, которые могут привести к недопустимому риску для жизни и здоровья людей;

г) утверждение заключения по оценке рисков и плана мероприятий по устраниению выявленных в ходе этой работы недостатков, направление этих документов в МЧС России или государственное учреждение, находящееся в его ведении;

д) осуществление контроля за выполнением плана мероприятий по устраниению выявленных в ходе оценки рисков недостатков и информирование МЧС России или государственного учреждения, находящегося в его ведении, о результатах контроля;

е) порядок проведения внутреннего аудита организации;

ж) порядок ведения архивов;

з) разработка форм документов;

и) установление срока действия заключения по оценке рисков (не более двух лет);

к) страхование гражданской ответственности при проведении оценки рисков;

л) процедуру приостановки (прекращения) деятельности в случае приостановления (отмены) действия свидетельства об аккредитации.

Проблеме пожарных рисков посвящено довольно много публикаций. Достаточно полное описание истории и современного состояния теории пожарных рисков, по нашему мнению, приведено в коллективной монографии “Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование”, подготовленной Национальной академией наук пожарной безопасности (НАНПБ), под общей редакцией Н. Н. Брушлинского и Ю. Н. Шебеко.

4. Декларирование пожарной безопасности

“Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” относит **декларирование пожарной безопасности** (пункт 4 части 1 статьи 144) к **обязательной форме** подтверждения соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности.

Как было сказано выше, в обязательном порядке должна предоставляться декларация пожарной безопасности объектов защиты, для которых законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности предусмотрено проведение государственной экспертизы проектной документации, а также зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1.1, объектов защиты, эксплуатирующихся на день вступления в силу настоящего Федерального закона (части 1 и 7 статьи 64 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”, пункты 1 и 6 приложения 2 к приказу МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91).

В то же время законодатель не запрещает декларировать в **добровольном порядке** пожарную безопасность объектов защиты (продукции), которые не подпадают под действие норм законодательства, устанавливающих обязательное декларирование пожарной безопасности.

Декларация пожарной безопасности в обязательном порядке должна разрабатываться и составляться в отношении:

1) объектов капитального строительства, для которых законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности предусмотрено проведение государственной экспертизы, за исключением:

отдельно стоящих жилых домов высотой не более трех этажей, предназначенных для проживания одной семьи (объекты индивидуального жилищного строительства);

жилых домов высотой не более трех этажей, состоящих из нескольких блоков, количество которых не превышает десяти и каждый из которых предназначен для проживания одной семьи, имеет общую стену (общие стены) без проемов с соседним блоком или соседними блоками, расположен на отдельном земельном участке и имеет выход на территорию общего пользования (жилые дома блокированной застройки);

многоквартирных домов высотой не более трех этажей, состоящих из одной или нескольких блоков-секций, количество которых не превышает четырех, в каждой из которых находятся несколько квартир и помещения общего пользования и каждая из которых имеет отдельный подъезд с выходом на территорию общего пользования;

отдельно стоящих объектов капитального строительства высотой не более двух этажей, общая площадь которых составляет не более 1500 м² и которые не предназначены для проживания граждан и осуществления производственной деятельности, за исключением особо опасных, технически сложных или уникальных объектов;

отдельно стоящих объектов капитального строительства высотой не более двух этажей, общая площадь которых составляет не более 1500 м², которые предназначены для осуществления производственной деятельности и для которых не требуется установление санитарно-защитных зон или для которых в пределах границ земельных участков, на которых расположены такие объекты, установлены санитарно-защитные зоны или требуется установление таких зон, за исключением особо опасных, технически сложных или уникальных объектов;

- 2) зданий детских дошкольных образовательных учреждений;
- 3) специализированных домов престарелых и инвалидов (не квартирные);
- 4) больниц;
- 5) спальных корпусов образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений.

Согласно части 7 статьи 64 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” для объектов защиты, **эксплуатирующихся** на день вступления в силу настоящего Федерального закона, декларация пожарной безопасности должна быть представлена в территориальный орган ГПН **до 1 мая 2010 г.**

Частью 5 статьи 6 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” предусмотрено, что собственником объекта защиты в рамках реализации мер пожарной безопасности должна быть представлена в **уведомительном порядке** до ввода в эксплуатацию объекта защиты **декларация пожарной безопасности**.

Наряду с этим частью 8 статьи 64 этого регламента установлено, что форма и порядок регистрации декларации пожарной безопасности утверждаются федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности.

Приказом МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91 “Об утверждении формы и порядка регистрации деклараций пожарной безопасности” (зарегистрировано в Минюсте РФ 23 марта 2009 г. № 13577) были утверждены: форма декларации пожарной безопасности (приложение 1) и порядок регистрации декларации пожарной безопасности (приложение 2).

Так, в соответствии с пунктом 2 приложения 2 к этому приказу декларация пожарной безопасно-

сти может составляться как **в целом на объект** защиты, так и на **отдельные**, входящие в его состав здания, сооружения, строения и **помещения**, к которым установлены требования пожарной безопасности.

Согласно приказу МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91 должностные лица органа МЧС России проверяют соответствие заполнения поступившей декларации установленной форме в течение пяти рабочих дней и в случае соответствия заполнения декларации установленным к ней требованиям осуществляют ее регистрацию путем внесения необходимых сведений в перечень деклараций пожарной безопасности.

После этого в течение трех рабочих дней с момента присвоения декларации регистрационного номера один ее экземпляр направляется органом МЧС России в адрес декларанта, а второй экземпляр хранится в органе МЧС России.

Однако если будет выявлено несоответствие заполнения декларации установленным к ней требованиям, то должностные лица органа МЧС России вправе возвратить декларацию декларанту с письменным указанием мотивированных причин отказа в ее регистрации (пункты 12–14 приложения 2 к приказу МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91).

В соответствии со статьей 64 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”, приказом МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91 (пункт 3 приложения 2) декларация разрабатывается и представляется собственником объекта защиты или лицом, владеющим им на праве пожизненного наследуемого владения, хозяйственного ведения, оперативного управления либо на ином законном основании.

Декларация на проектируемый объект защиты составляется застройщиком либо лицом, осуществляющим подготовку проектной документации. При этом необходимо учитывать, что для проектируемых объектов защиты декларация представляется до ввода их в эксплуатацию (пункты 4–5 приложения 2 к приказу МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91).

Составной частью декларации пожарной безопасности (на объектах, для которых они должны быть разработаны в соответствии с законодательством Российской Федерации) являются расчеты по оценке пожарного риска, если не выполнены требования части 3 статьи 6 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”. Порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска определяется нормативными правовыми актами Российской Федерации (части 6 и 7 статьи 6 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”).

К таким нормативным правовым актам Российской Федерации относятся:

постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 “О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска”;

приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 “Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”;

приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 “Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах”.

При подготовке декларации пожарной безопасности необходимо учитывать то обстоятельство, что собственник объекта защиты или лицо, владеющее объектом защиты на праве пожизненного наследуемого владения, хозяйственного ведения, оперативного управления либо **по иному основанию**, предусмотренному федеральным законом или договором, разработавшие декларацию пожарной безопасности, **несут ответственность** за полноту и достоверность содержащихся в ней сведений в соответствии с законодательством Российской Федерации (часть 4 статьи 64 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”).

Поэтому в целях повышения качества подготовки декларации пожарной безопасности на объект защиты, по нашему мнению, наиболее целесообраз-

ным было бы привлечение организации, имеющей в своем штате квалифицированных специалистов со средним специальным или высшим пожарно-техническим образованием либо с опытом работы в органах и подразделениях Государственной противопожарной службы, в том числе в пожарно-технических научно-исследовательских и образовательных учреждениях.

В настоящее время часто задается вопрос о том, заменяет ли декларация пожарной безопасности такие альтернативные формы оценки соответствия, как государственный пожарный надзор или независимая оценка пожарного риска (аudit пожарной безопасности). На этот вопрос можно сказать следующее.

В соответствии с действующим законодательством Российской Федерации в том случае, если на объекте защиты осуществляется одна из двух вышеуказанных форм оценки соответствия: государственный пожарный надзор (один раз в три года) либо независимая оценка пожарного риска (аudit пожарной безопасности) один раз в два года, то одновременно с одной из этих форм оценки соответствия на объекты защиты, прямо перечисленные в действующем законодательстве (части 1 и 7 статьи 64 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”, пункты 1 и 6 приложения 2 к приказу МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91), в **обязательном порядке** должна представляться и декларация пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конституция Российской Федерации : офиц. текст. — М. : Маркетинг, 2007. — 39 с.
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федер. закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ : принят Гос. Думой 22 декабря 2004 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2005. — № 1 (часть 1). — Ст. 16.
3. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ : принят Гос. Думой 20 июня 1997 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1997. — № 30. — Ст. 3588.
4. О качестве и безопасности пищевых продуктов : Федер. закон от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ : Гос. Дума России; Совет Федерации // Эколог. вестник России. — 2001. — № 1. — С. 13–19.
5. Технический регламент на молоко и молочную продукцию : Федер. закон от 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ : принят Гос. Думой 23 мая 2008 г. ; одобрен Советом Федерации 30 мая 2008 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2008. — № 24. — Ст. 2801.
6. Технический регламент на масложировую продукцию : Федер. закон от 24 июня 2008 г. № 90-ФЗ : принят Гос. Думой 11 июня 2008 г. ; одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 г. // Российская газета, 28 июня 2008 г.
7. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ : принят Гос. Думой 23 декабря 2009 г. ; одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г. // Российская газета, 31 декабря 2009 г.
8. О пожарной безопасности : Федер. закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ : принят Гос. Думой 18 ноября 1994 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1994. — № 35. — Ст. 3649.
9. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.

10. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" : Федер. закон от 9 ноября 2009 г. № 247-ФЗ : принят Гос. Думой 23 октября 2009 г. // Российская газета, 11 ноября 2009 г.
11. Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 // Бюллетень строительной техники. — 2008. — № 4.
12. О внесении изменения в Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : Постановление Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2009 г. № 1044 [электронный ресурс]. URL : <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 15.01.2010).
13. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска : Постановление Правительства Российской Федерации 31 марта 2009 г. № 272 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2009. — № 14. — (Утв. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска при составлении деклараций пожарной безопасности).
14. Об утверждении Правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска : Постановление Правительства Российской Федерации от 7 апреля 2009 г. № 304 // Российская газета, 14 апреля 2009 г.
15. Об органе по аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия продукции требованиям пожарной безопасности : Постановление Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2009 г. № 373 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2009. — № 19. — Ст. 2331.
16. Об утверждении требований пожарной безопасности при распространении и использовании пиротехнических изделий : Постановление Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2009 г. № 1052 // Российская газета, 28 декабря 2009 г.
17. О федеральном органе исполнительной власти, уполномоченном на выдачу разрешений на строительство и разрешений на ввод в эксплуатацию объектов капитального строительства : Постановление Правительства Российской Федерации от 23 мая 2009 г. № 441 // Российская газета, 29 мая 2009 г.
18. О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий : Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2007 г. № 145 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2007. — № 11. — Ст. 1336.
19. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 марта 2009 г. № 304-р // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2009. — № 11. — Ст. 1363. — (Утв. Перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и изменений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" и осуществления оценки соответствия).
20. Положение об органах Государственного пожарного надзора в РСФСР : Постановление Все-российского Центрального Исполнительного Комитета (ВЦИК) и Совета Народных Комиссаров (СНК) РСФСР от 18 июля 1927 г.
21. Об утверждении Перечня национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование) от 30 апреля 2009 г. № 1573 // Вестник Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. — 2009. — № 5.
22. Об утверждении Порядка добровольной аккредитации организаций, осуществляющих деятельность в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и обеспечения пожарной безопасности : Приказ МЧС России от 20 ноября 2007 г. № 607 : зарегистр. в Минюсте РФ 30 ноября 2007 г., рег. № 10597 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2007. — № 52.
23. О мерах по реализации приказа МЧС России от 20 ноября 2007 г. № 607 : Приказ МЧС России от 13 марта 2008 г. № 119 : зарегистр. в Минюсте РФ 9 апреля 2008 г., рег. № 11501 // Промышленная безопасность. — Серия 19. — Вып. 2, ч. 4.
24. Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности : Приказ МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 91 : зарегистр. в Минюсте РФ 23 марта 2009 г., рег. № 13577 // Информационный бюллетень о нормативной, методической и типовой проектной документации. — 2009. — № 5.

25. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрир. в Минюсте РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 10.01.2010).
26. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : Приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 : зарегистрирован в Минюсте РФ 17 августа 2009 г., рег. № 14541 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 10.01.2010).
27. Порядок проведения сертификации продукции в области пожарной безопасности в Российской Федерации : Приказ МЧС России от 18 июня 2003 г. № 312. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2003.
28. "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности": на что следует обратить особое внимание // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 9. — С. 7–9.
29. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование : монография / Под ред. Н. Н. Брушлинского и Ю. Н. Шебеко. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2007. — 370 с.

Материал поступил в редакцию 14 января 2010 г.
© Колесников П. П., 2010 г.
(e-mail: neb@tsniisk.ru).



ООО “ИЗДАТЕЛЬСТВО “ПОЖНАУКА”

121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7.

Тел.: (495) 228-09-03, 445-42-34

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



Уважаемые коллеги!

ООО “Издательство “Пожнаука” и интернет-ресурс Steelbuildings.ru “Больше ЛМК в России” проводят **заочный круглый стол “Так ли пожароопасны здания из легких металлических конструкций (ЛМК)?”**. Предлагаем Вам принять участие в работе данного круглого стола.

Экспертом от Steelbuildings.ru “Больше ЛМК в России” выступит консультант по маркетингу ЛМК Дмитрий Кропивницкий (DK), от ООО “Издательство “Пожнаука” выступит главный редактор, заведующий кафедрой пожарной безопасности Московского государственного строительного университета, д. т. н., профессор А. Я. Корольченко.



Вопросы, предлагаемые для обсуждения:

1. Для возведения каких объектов рекомендуются здания на основе ЛМК?
2. В чем преимущества зданий на основе ЛМК перед другими видами конструкций и есть ли недостатки?
3. Какие материалы используются в настоящее время для изготовления ЛМК, каковы свойства этих материалов?
4. Каковы особенности технологии строительства зданий из ЛМК в нашей стране?
5. Конструкции каких типов рекомендуются в качестве ограждающих в зданиях производственного и общественного назначения?
6. Какие конструкции рекомендуются в виде кровельных и каковы особенности их крепления?
7. Какие утеплители применяются в современных ограждающих ЛМК и каковы их свойства?
8. Наиболее известные пожары с катастрофическими последствиями в зданиях с использованием ЛМК, их развитие и последствия?
9. Что можно порекомендовать для снижения пожарной опасности ограждающих ЛМК?
10. Чем определяются пределы огнестойкости несущих конструкций и каковы их значения?
11. До каких значений можно повысить пределы огнестойкости металлических конструкций методами огнезащиты?
12. Какие средства и способы огнезащиты являются предпочтительными для зданий из ЛМК?

Ответы на предлагаемые вопросы Вы можете присыпать по e-mail: izdat_pozhnauka@mail.ru Татьяне Сергуниной или info@Steelbuildings.ru Дмитрию Кропивницкому.

Срок подачи информации — до 26 февраля 2010 г.

Вы можете также разместить рекламно-информационные материалы Вашей компании в апрельском номере журнала “Пожарная безопасность в строительстве” издательства “Пожнаука”, в котором будут опубликованы итоговые материалы круглого стола.



Г. В. Кузнецов
д-р физ.-мат. наук, профессор,
Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия



А. В. Захаревич
ассистент, Томский
политехнический универ-
ситет, г. Томск, Россия



В. И. Максимов
канд. тех. наук, старший препода-
ватель, Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия

УДК 536.468

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ НАГРЕТОЙ ЧАСТИЦЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Излагаются результаты экспериментального исследования закономерностей зажигания жидкого топлива (керосина, дизельного топлива и мазута) одиночной, нагретой до высоких температур сферической стальной частицей. Проведено сравнение времен задержки зажигания исследуемых пожароопасных веществ частицами в форме сферы и диска. Установлено, что форма частицы не оказывает существенного влияния на характеристики процесса зажигания.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, жидкое топливо, форма стальной частицы, время задержки зажигания, температура частицы.

Введение

В результате экспериментальных исследований [1, 2] установлено, что нагретые до высоких температур частицы в форме диска являются источниками зажигания типичных жидкых топлив (керосина, дизельного топлива, мазута) при температурах выше 1230 К. Однако на практике нагретые частицы достаточно часто имеют форму сферы, поэтому целесообразными являются исследования зажигания жидкого топлива частицами в форме сферы и установление степени влияния формы частицы на параметры зажигания.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процесса зажигания пожароопасных топлив одиночной, нагретой до высоких температур стальной частицей в форме сферы и сравнение полученных данных с результатами аналогичных исследований для частиц в форме диска.

Методика эксперимента

Для исследований использовалась экспериментальная установка [3], основными элементами которой являлись нагревательная печь и контрольно-измерительный блок. При планировании экспери-

мента была выбрана наиболее типичная схема: металлическая частица падает перпендикулярно поверхности жидкости с малой скоростью — не более 1,7 м/с. На основании такой схемы выбиралось фиксированное значение высоты падения частицы, которое не позволяло пожароопасным топливам самовоспламеняться от нагревательной печи. Принималось, что частица погружается в жидкость не полностью. Эксперименты проводились для частиц в форме сферы диаметром $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м. Металлическая частица падала в стеклянный вертикальный сосуд размером $h = 4 \cdot 10^{-2}$ м и $d = 5 \cdot 10^{-2}$ м. Температура частицы T_q существенно превышала начальную температуру жидкого топлива (300 К). Для обеспечения достоверности результатов измерений проводилась серия опытов (4–6 раз подряд в одинаковых условиях). Моменты соприкосновения “горячей” стальной частицы с поверхностью жидкости и появления пламени фиксировались датчиками на базе электронного фотоэлемента. Время задержки зажигания τ_{ind} определялось с момента контакта частицы с поверхностью пожароопасного вещества до момента появления пламени. Интервал между этими двумя моментами регистрировался на персональном компьютере.

Результаты экспериментальных исследований

Опыты проводились со сферическими металлическими частицами, диаметр которых был равен диаметру частиц-дисков, исследованных ранее [1–4]. На рис. 1–3 приведены экспериментальные зависимости времени задержки зажигания τ_{ind} от температуры частицы T_q при воспламенении керосина, дизельного топлива и мазута стальными частицами в форме сферы и диска. Кривые построены в результате аппроксимации экспериментальных данных. Аппроксимационные кривые получены методом наименьших квадратов. Коэффициент вариации экспериментальных данных при постоянной температуре составляет не более 10 %. Эксперименты проводились для частиц с одинаковой площадью миделевого сечения. Как видно из результатов экспериментов, отличие времен задержки зажигания частицами в форме диска и сферы для исследуемых жидкых топлив составляет не более 18 %. Такое отклонение экспериментальных данных наблюдается при начальной (минимальной) температуре зажигания жидкого топлива. При дальнейшем повышении температуры частиц рассеяние экспериментальных данных уменьшается.

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что форма частицы оказывает несущественное влияние на характер зажигания жидкого топлива. Установленные закономерности можно объяснить следующим образом. Эксперименты для трех вышеназванных жидкых топлив проводились в идентичных условиях: частицы погружались в жидкость в среднем не более чем на 1,5 мм. При идентичных глубинах погружения и диаметрах диска и сферы площади контакта S_k частиц разной формы различались: значение S_k было в 1,5 раза меньше для частицы-сферы. Поэтому и количество теплоты, передаваемое в жидкость, в экспериментах с частицами в форме сферы было ниже, чем в опытах с частицами в форме диска. Отличие же во времени задержки зажигания, очевидно, обусловлено тем, что частица-диск после погружения в дизельное топливо нагревала его в основном за счет теплоотвода с боковой поверхности. Торцевая поверхность частицы-диска слабо участвовала в процессе передачи энергии в топливо, после того как диск достигал дна сосуда с жидкостью. В отличие от диска частица-сфера соприкасалась с дном сосуда только в одной точке, остальная же часть поверхности охлаждалась за счет теплоотвода в топливо. Формально площадь контакта с жидкостью частицы-диска, лежащей на дне, была в 1,5 раза меньше, чем частицы-сферы в аналогичных условиях.

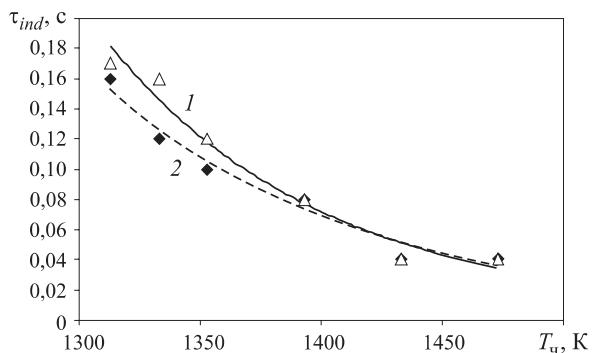


Рис. 1. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания дизельного топлива от температуры частицы: 1 — сфера $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — диск $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м

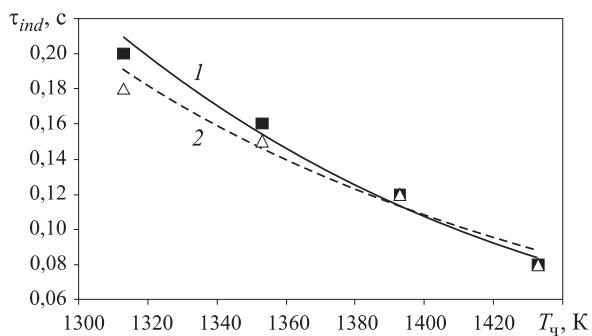


Рис. 2. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания керосина от температуры частицы: 1 — сфера $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — диск $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м

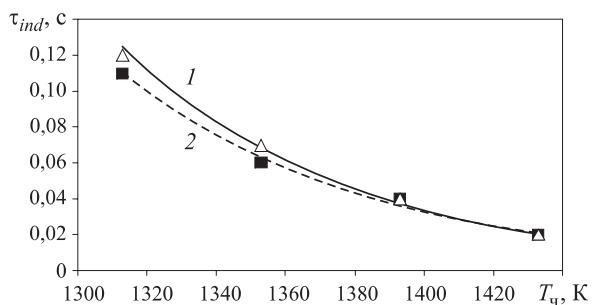


Рис. 3. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания мазута от температуры частицы: 1 — сфера $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м; 2 — диск $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м

Однако необходимо отметить, что диск опускался на дно сосуда и проходил через топливо с конечной скоростью, нагревая жидкость за счет охлаждения нижней торцевой поверхности в течение интервала времени, соответствующего его движению. При этом образующиеся пары горючего, двигаясь с высокой скоростью вверх, препятствовали движению частицы и существенно снижали скорость ее перемещения вниз. В результате теплота, аккумулируясь в частице, достаточно интенсивно (не менее интенсивно, чем для сферы) передавалась в топливо.

И даже после того, как частица достигала дна, вследствие шероховатости поверхностей стеклянного сосуда и самой частицы между ними не было идеального контакта. Находящееся между их поверхностями в элементах шероховатости (трещинах, выемках, зазорах) топливо интенсивно испарялось, и образующиеся при этом парообразные продукты локально выходили из-под диска с высокой интенсивностью.

По этим причинам в итоге разность значений τ_{ind} для частиц в форме сферы и диска составляет не более 18 % в случае низких температур частиц и стремится к нулю при повышении их температуры.

Сопоставление численных значений τ_{ind} , полученных в идентичных условиях для дизельного топлива, керосина и мазута (см. рис. 1, 2 и 3 соответственно), позволяет сделать еще один важный вывод. Во всем охваченном диапазоне изменения температур наименьшее значение времени задержки воспламенения зафиксировано при зажигании мазута. Этот неочевидный на первый взгляд результат скорее всего обусловлен особенностями процессов образования паров исследуемых жидким топливом. Мазут относится к топливам с высокой долей коксового остатка процесса пиролиза (креминга) исходного вещества. Поэтому для перехода из жидкого состояния в состояние, характерное для воспламенения этого топлива, необходимо при прочих адекватных условиях наименьшее количество энергии из трех рассматриваемых жидкостей. При испарении (точнее газификации) керосина образуется

минимальное по сравнению с дизельным топливом и мазутом количество твердых продуктов, и, соответственно, теплота его испарения максимальна. На подготовку процесса воспламенения единицы массы этого вещества необходимо затратить наибольшее по сравнению с мазутом и дизельным топливом количество теплоты. Следовательно, время задержки зажигания керосина в одинаковых с мазутом и дизельным топливом условиях должно быть наибольшим.

Заключение

Экспериментально исследовано зажигание группы типичных жидких топлив одиночными, нагретыми до высоких температур металлическими частицами в форме сферы и диска. На основании полученных в результате экспериментальных исследований зависимостей τ_{ind} от T_q можно сделать вывод о возможности использования полученных ранее результатов для частиц в форме диска при анализе времен задержки воспламенения жидким топливом частицами в форме сферы при их идентичном характерном размере. Отклонение τ_{ind} от истинного значения при этом, по крайней мере, не будет превышать погрешности экспериментальных методик определения времен задержки воспламенения в рассматриваемых условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 06-08-00366).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Г. В. Зажигание дизельного топлива одиночной "горячей" металлической частицей / Г. В. Кузнецов, А. В. Захаревич, В. И. Максимов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
2. Захаревич, А. В. О механизме зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей / А. В. Захаревич, Г. В. Кузнецов, В. И. Максимов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
3. Кузнецов, Г. В. Зажигание жидкого пожароопасного вещества одиночной "горячей" металлической частицей / Г. В. Кузнецов, А. В. Захаревич, В. И. Максимов // Изв. вузов. Физика. — 2007. — № 9/2. — С. 90–95.
4. Захаревич, А. В. Оценка пожарной опасности мазута в условиях перегрузки, хранения и транспорта на тепловых электрических станциях / А. В. Захаревич, Г. В. Кузнецов, В. И. Максимов, В. Ф. Панин, Д. С. Равдин // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 313, № 4. — С. 25–29.

*Материал поступил в редакцию 23 декабря 2009 г.
© Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И., 2010 г.
(e-mail: bet@tpu.ru).*

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

Web сайт: www.firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru; izdat_pozhnauka@mail.ru

Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 445-42-34

предлагает вашему вниманию



А. Я. Корольченко
**Пожарная опасность материалов
для строительства. – 217 с.**

Дана классификация строительных материалов по областям применения в сфере строительства. Приведена характеристика основных физико-механических и теплофизических свойств. Описаны механизмы дымообразования и образования токсичных продуктов горения, методы экспериментального определе-

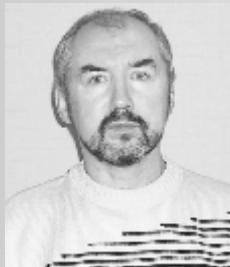
ния показателей пожарной опасности, предусмотренных национальными стандартами: горючести, воспламеняемости, распространения пламени по поверхности, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения. Данна характеристика пожарной опасности основных классов строительных материалов.

А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко
Средства огнезащиты. – 560 с.

В справочнике приведены характеристики около 300 огнезащитных составов, представленных 50 производителями.

В книге изложены требования нормативных документов к средствам и способам огнезащиты, проведению огнезащитных работ, методы испытаний огнезащитных составов, способы контроля качества и правила приемки огнезащитных работ.





Д. В. Батов

д-р хим. наук, профессор Ивановского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, ведущий научный сотрудник Института химии растворов РАН, г. Иваново, Россия



Т. А. Мочалова

канд. биол. наук, преподаватель Ивановского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, г. Иваново, Россия



А. В. Петров

канд. хим. наук, доцент, старший преподаватель Ивановского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, г. Иваново, Россия

УДК 544.355-122:532.00

ОПИСАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШКИ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ В РАМКАХ АДДИТИВНО-ГРУППОВОГО МЕТОДА

Предложенный авторами ранее вариант аддитивно-группового метода адаптирован для расчета температуры вспышки сложных эфиров. Показана его высокая точность при описании и прогнозировании температуры вспышки исследованных веществ.

Ключевые слова: сложные эфиры, температура вспышки, пожароопасность, аддитивно-групповой метод.

Для установления взаимосвязи свойств органических соединений с составом и строением их молекул целесообразно использовать аддитивно-групповой подход. Указанный подход позволяет также систематизировать экспериментальные данные и с достаточной точностью прогнозировать свойства множества новых объектов, используя полученные ранее данные по сравнительно небольшому числу групп. Ранее нами была показана применимость метода групповой аддитивности для анализа свойств органических жидкостей, характеризующих их пожароопасность [1, 2]. Основными источниками показателей пожарной опасности веществ являлись справочные издания [3–6], однако для многих соединений экспериментальные данные по показателям пожарной опасности отсутствуют. В этом случае целесообразно пользоваться расчетными методами, ряд из которых описан в руководстве [7]. В предыдущих работах нами были получены аддитивные модели, описывающие температуру вспышки предельных одноатомных спиртов и кетонов [1, 2, 8]. Следует отметить, что наиболее сложный случай для создания аддитивных схем представляют органические соединения, молекулы которых включают углеводородные радикалы молекул разных классов. К таким веществам относятся, например, сложные эфиры. Поэтому целью настоящей работы явилась разработка аддитивной схемы и получение уравнения, позволяющего описывать и прогнозировать температуры вспышки веществ класса сложных эфиров.

Основу аддитивной схемы составила методика, изложенная в работах [9–11] и апробированная для описания и прогнозирования физико-химических и термодинамических свойств органических незеллероловитов и их водных и неводных растворов. Анализ литературных данных, в том числе по температурам вспышки $t_{\text{всп}}$ сложных эфиров [3–6], показал, что свойства первого члена гомологического ряда существенно отличаются от свойств последующих соединений. Поэтому в настоящей работе для более тонкой детализации молекул органических соединений и учета особенностей строения и свойств первого члена гомологического ряда введена соответствующая поправка, учитывающая отличия в свойствах функциональной группы, связанной с метильным радикалом.

Схему выделения структурных фрагментов проиллюстрируем на примере молекулы сложного эфира 2,3-диметилпентил-3'-метилпентаноата (табл. 1).

Уравнение в рамках принятой аддитивной схемы будет выглядеть следующим образом:

$$t_{\text{всп}} = t_{\text{всп}}(Y_p) + \delta t_{\text{всп}}(Y_{pp}) + \delta t_{\text{всп}}(Y_s) + \delta t_{\text{всп}}(Y_t) + \\ + \sum_{i=1}^n [y_i t_{\text{всп}}(\text{CH}_{y,i}) + p_i t_{\text{всп}}(\text{CH}_{p,i}) + s_i t_{\text{всп}}(\text{CH}_{s,i}) + \\ + t_i t_{\text{всп}}(\text{CH}_{t,i}) + h_i t_{\text{всп}}(\text{CH}_{h,i})], \quad (1)$$

где $t_{\text{всп}}$ — температура вспышки вещества в закрытом тигле (з. т.);

Таблица 1. Вид и количество СН-связей в молекуле 2,3-диметилпентил-3'-метилпентаноата

| | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{O} - \underset{\text{O}}{\overset{\parallel}{\text{C}}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ | | | | | | | | |
| СН-связи в радикале спирта | | | | Y | СН-связи в радикале карбоновой кислоты | | | |
| CH _{p,A} | CH _{s,A} | CH _{t,A} | CH _{Y,A} | | CH _{Y,Ac} | CH _{t,Ac} | CH _{s,Ac} | CH _{p,Ac} |
| 9 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0 | 2 | 6 |
| Примечание. Y — функциональная группа. В сложных эфирах выделяется группа $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{O}-\text{C}- \end{array} \right)$. | | | | | | | | |

Таблица 2. Вклады групп в температуру вспышки и параметры множественной корреляции по уравнению (1) для сложных эфиров*

| CH _{p,A} | CH _{s,A} | CH _{t,A} | CH _{Y,A} | Y _p | Y _{pp} | Y _s | CH _{Y,Ac} | CH _{s,Ac} | CH _{p,Ac} | n | se | R |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|------|-------|
| 5,11 ± ± 0,31 | 7,92 ± ± 0,12 | 8,37 ± ± 1,37 | 2,76 ± ± 0,44 | -34,57 ± ± 2,88 | -7,29 ± ± 1,56 | 0,71 ± ± 1,23 | 6,59 ± ± 0,24 | 6,66 ± ± 0,29 | 6,61 ± ± 0,23 | 33** | 1,55 | 0,999 |

* Названия эфиров указаны в табл. 3.

** Для аппроксимации не использованы данные для соединений 1, 2, 19, 37–46.

Примечание. Y = $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{O}-\text{C}- \end{array} \right)$; n — число аппроксимированных точек; se — стандартная погрешность, рассчитываемая по формуле $se = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left[\sum (y - \bar{y})^2 - \frac{[\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum (x - \bar{x})^2} \right]}$, где y, \bar{y} , x, \bar{x} — выборочные и средние значения; R — коэффициент корреляции.

$t_{\text{всп}}(Y_p)$ — вклад в температуру вспышки полярной группы, связанной с первичным атомом углерода (CH₂-группой);

$\delta t_{\text{всп}}(Y_s)$ и $\delta t_{\text{всп}}(Y_t)$ — поправки, учитывающие различия в свойствах функциональных групп, связанных соответственно с вторичным и третичным атомами углерода;

$\delta t_{\text{всп}}(Y_{pp})$ — поправка, учитывающая отличия в свойствах функциональной группы со стороны гетероатома, связанной с метильным радикалом. Вклад функциональной группы, связанной с метильным радикалом, вторичным или третичным углеродным атомом, можно определить суммированием величин $t_{\text{всп}}(Y_p)$ и соответствующей поправки $\delta t_{\text{всп}}(Y_{pp})$, $\delta t_{\text{всп}}(Y_s)$ или $\delta t_{\text{всп}}(Y_t)$;

$t_{\text{всп}}(\text{CH}_{y,i})$ — вклад в температуру вспышки СН-связей атомов углерода, находящихся в первом окружении полярной группы в связанном с ней i-м углеводородном радикале. Первое окружение функциональной группы включает СН-связи атомов углерода, связанного с функциональной группой и следующего за ним;

$t_{\text{всп}}(\text{CH}_{p,i})$, $t_{\text{всп}}(\text{CH}_{s,i})$, $t_{\text{всп}}(\text{CH}_{t,i})$, $t_{\text{всп}}(\text{CH}_{h,i})$ — вклады в температуру вспышки СН-связей соответственно в метильных, метиленовых и метиновых радикалах, а также четвертичного ато-

ма углерода, не входящих в первое окружение полярной группы;

y_i , p_i , s_i , t_i и h_i — количества выделенных структурных фрагментов в i-м углеводородном радикале; определяются составом и строением молекул.

В табл. 2 приведены вклады фрагментов в температуру вспышки и параметры регрессии для уравнения (1).

В табл. 3 сопоставлены рассчитанные по формуле (3) и экспериментальные температуры вспышки в закрытом тигле исследуемых соединений. Из данных в табл. 3 видно, что для всех исследуемых сложных эфиров, включенных в корреляцию (1), как нормального строения, так и изомеров, расчетные значения хорошо согласуются с экспериментальными данными. На фоне общего хорошего согласия расчетных и экспериментальных значений $t_{\text{всп}}$ обращает на себя внимание довольно значительное расхождение их для метил- и этилформиатов. Если учесть, что температура кипения закономерно увеличивается от метилформиата (31,5 °C) к этилформиату (54 °C) [4], то вызывают сомнение практически одинаковые температуры вспышки этих соединений. Это может быть связано со сложностью экспериментального определения отрицательных температур вспышки.

Таблица 3. Экспериментальные и рассчитанные по формуле (3) $t_{\text{всп}}$ (з. т.) веществ (°C)

| № п/п | Вещество | Эксп. | Расч. | № п/п | Вещество | Эксп. | Расч. |
|-------|-----------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| 1 | Метилформиат | -21 | -27 | 24 | Пентилпропионат | 58 | 56 |
| 2 | Этилформиат | -20 | -14 | 25 | Гексилпропионат | 71 | 72 |
| 3 | 1-метилэтилформиат | -8 | -8 | 26 | Гептилпропионат | 88 | 88 |
| 4 | 2-метилпропилформиат | 10 | 11 | 27 | Метилбутират | 14 | 13 |
| 5 | Пентилформиат | 30 | 30 | 28 | Этилбутират | 26 | 25 |
| 6 | 3-метилбутилформиат | 21 | 22 | 29 | Пропилбутират | 37 | 38 |
| 7 | Гексилформиат | 48 | 46 | 30 | Бутилбутират | 54 | 54 |
| 8 | Гептилформиат | 63 | 62 | 31 | Пентилбутират | 70 | 70 |
| 9 | Метилацетат | -15 | -14 | 32 | 3-метилбутилбутират | 62 | 62 |
| 10 | Этилацетат | -3 | -1 | 33 | Гексилбутират | 84 | 85 |
| 11 | Пропилацетат | 14 | 12 | 34 | Гептилбутират | 100 | 101 |
| 12 | 1-метилэтилацетат | 4 | 5 | 35 | Метилпентаноат | 27 | 26 |
| 13 | Бутилацетат | 29 | 27 | 36 | Этилгентаноат | 65 | 65 |
| 14 | 2-метилпропилацетат | 22 | 24 | 37 | Этенилацетат | -8 | -7 |
| 15 | 1-метилпропилацетат | 19 | 18 | 38 | Пропенил-2-ацетат | 13 | 4 |
| 16 | 1,1-диметилэтилацетат | 10 | 10 | 39 | 1-метилэтенилацетат | 7 | -1 |
| 17 | Пентилацетат | 43 | 43 | 40 | 1-метилпентилацетат | 45 | 49 |
| 18 | 3-метилбутилацетат | 36 | 35 | 41 | Гептилацетат | 70 | 75 |
| 19 | 1-метилбутилацетат | 26 | 34 | 42 | 2-метилпропилпропионат | 38 | 37 |
| 20 | Гексилацетат | 57 | 59 | 43 | 3-метилбутилпропионат | 54 | 48 |
| 21 | Метилпропионат | -2 | -1 | 44 | 2-метилпропилбутират | 50 | 51 |
| 22 | Этилпропионат | 12 | 12 | 45 | Этенилбутират | 22 | 20 |
| 23 | Бутилпропионат | 43 | 41 | 46 | Этилпентаноат | 37 | 39 |

Целесообразно сопоставить точность описания температуры вспышки исследуемых сложных эфиров предложенным в настоящей работе уравнением с наиболее корректной и физически обоснованной зависимостью (2), предложенной в литературе [7]:

$$t_{\text{всп}} = a + b t_{\text{кип}}, \quad (2)$$

где a , b — подгоночные коэффициенты, полученные регрессионным анализом экспериментальных данных по $t_{\text{всп}}$ и $t_{\text{кип}}$.

Полученные подгоночные коэффициенты и параметры корреляции уравнения (2) для одинакового набора исследуемых соединений представлены в табл. 4. Температуры кипения эфиров заимствованы из справочников [3, 4].

Сопоставление стандартных погрешностей и коэффициентов корреляции из табл. 2 и 4 показывает, что предложенная нами аддитивная модель дает существенно лучшие результаты по сравнению с корреляцией (2). Кроме того, к достоинствам предложенной нами модели следует отнести и то, что она учитывает взаимное влияние атомов в первом окружении выделенного структурного фрагмента, а также то, что при расчетах $t_{\text{всп}}$ не требуется использовать другие физико-химические свойства веществ.

Таблица 4. Подгоночные коэффициенты и параметры корреляции уравнения (2) для сложных эфиров

| a | b | se | R | n |
|-------------------|-------------------|------|--------|-----|
| $-55,86 \pm 0,67$ | $1,005 \pm 0,007$ | 3,89 | 0,9914 | 33 |

Прогнозирующую способность нашей аддитивной схемы можно проиллюстрировать следующим образом. Из табл. 3 видно, что наблюдается в основном хорошее согласие (1–3 °C) рассчитанных и экспериментальных данных для не включенных в корреляцию сложных эфиров (соединения 37–46 в табл. 3). Особо следует отметить этенилацетат и этенилбутират. Для них характерно незначительное различие расчетных и экспериментальных значений $t_{\text{всп}}$, несмотря на то, что их молекулы содержат двойную связь, которая как самостоятельный структурный фрагмент не учитывалась в уравнении (3). Такое явление может быть связано с тем, что СН-связи этенильного радикала могут классифицироваться лишь как СН-связи атомов углерода, находящихся в первом окружении полярной группы. Наличие двойной связи, вероятно, оказывает влияние на $t_{\text{всп}}$ пропенил-2-ацетата, увеличивая температуру вспышки.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что предложенный ранее авторами вариант аддитивно-группового метода, адаптированный для

расчета температуры вспышки жидкостей, позволяет с высокой точностью описывать и прогнозировать температуру вспышки сложных эфиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мочалова, Т. А.** К вопросу об усовершенствовании методик расчета температуры вспышки индивидуальных жидких веществ в закрытом тигле / Т. А. Мочалова, А. В. Петров, Д. М. Олейников, Д. В. Батов // Материалы IV Международной научно-практической конференции "Пожарная и аварийная безопасность". — Иваново : ИвИГПС МЧС России, 2008. — С. 151–156.
2. **Петров, А. В.** Применение аддитивно-группового метода для расчета характеристик горения кетонов / А. В. Петров, Т. А. Мочалова, Д. В. Батов // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2008. — № 1. — С. 46–49.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. изд. : в 2 кн. ; кн. 1 / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук [и др.]. — М. : Химия, 1990. — 496 с.
4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. изд. : в 2 кн. ; кн. 2 / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук [и др.]. — М. : Химия, 1990. — 384 с.
5. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнauка, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
6. **Корольченко, А. Я.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнauка, 2004. — Ч. 2. — 774 с.
7. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов: Руководство. — М. : ВНИИПО, 2002. — 77 с.
8. **Мочалова, Т. А.** Развитие аддитивно-группового метода для расчета характеристик горения кетонов / Т. А. Мочалова, А. В. Петров, Д. В. Батов // Материалы Международной научно-практической конференции "Пожарная и аварийная безопасность". — Иваново : ИвИГПС МЧС России, 2007. — С. 7–12.
9. **Батов, Д. В.** Термохимия растворов органических неэлектролитов в смешанных растворителях : автореф. дис. ... д-ра хим. наук / Батов Дмитрий Вячеславович. — Иваново, 2002. — 33 с.
10. **Батов, Д. В.** Сольватация амидов муравьиной и уксусной кислот в смеси вода – глицерин. Аддитивность термохимических характеристик растворов / Д. В. Батов, Д. Д. Батов // Журн. структ. химии. — 2005. — Т. 46, № 2. — С. 293–302.
11. **Батов, Д. В.** Аддитивная схема для расчета свойств растворов органических соединений. Предельные парциальные молярные объемы алканолов в водном растворе / Д. В. Батов // Журн. прикл. химии. — 2007. — Т. 80, вып. 3. — С. 435–439.

Материал поступил в редакцию 18 декабря 2009 г.
© Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В., 2010 г.
(e-mail: bdv@dsn.ru).

**Е. В. Русинова**

д-р хим. наук, профессор Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ и Уральского государственного университета им. А. М. Горького, г. Екатеринбург, Россия

**С. А. Евтюхов**

канд. техн. наук, доцент Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, г. Екатеринбург, Россия

УДК 544.015.4:536.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ДИБУТИЛФТАЛАТА С КАУЧУКАМИ – КОМПОНЕНТАМИ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

Представлены результаты исследований термодинамической совместимости каучуков с дибутилфталатом. Построены фазовые диаграммы растворов каучуков. Показано, что наибольший температурный диапазон совместимости реализуется для растворов нитрильного каучука. Полученные фазовые диаграммы могут быть использованы для прогнозирования эффективности работы топлив, содержащих исследованные каучуки и дибутилфталат.

Ключевые слова: термодинамическая совместимость, каучук, пластификатор, фазовая диаграмма.

Введение

Современные смесевые твердые топлива относятся к высокоэнергетическим материалам (ВЭМ) и представляют собой компактные носители энергии, не требующие для ее реализации сложных устройств. В последние годы достижения химии и технологии ВЭМ широко внедряются в различные области народного хозяйства в связи с конверсией оборонных предприятий и военной техники. Это позволяет не только резко повысить эффективность и экономичность многих процессов, но и создавать принципиально новые материалы, изделия и технологии. Примером подобного внедрения является использование взрывчатых веществ в качестве компактных газогенераторов и аккумуляторов высокого давления, позволяющих за короткое время создавать необходимое давление в средствах пожаротушения для распыления огнегасящих жидкостей и порошков. Различные ВЭМ используют в механизмах, мгновенно срабатывающих по команде, для перекрытия трубопроводов при пожаре или взрыве, в системах экстренного торможения, в подушках безопасности в автомобилях и т. п.

Горение твердого топлива характеризуется протеканием множества процессов, обусловленных спецификой его компонентов. Современные топлива представляют собой многокомпонентные смеси, содержащие, кроме окислителя и горючего, полимерные вещества и пластификаторы [1]. Пластификацию проводят для облегчения формирования изделий из полимерсодержащих составов и расширения температурной области их эксплуатации.

Многие модифицированные смесевые топлива в качестве связующего содержат бутадиеновые каучуки, которые имеют преимущество перед нитроцеллюлозой или нитроглицерином, также используемыми в качестве связующих. Это связано с более высокой способностью бутадиеновых каучуков к деформации растяжения даже при минусовых температурах, поскольку температура стекловидования их находится в диапазоне $-65\ldots-70^{\circ}\text{C}$ [2]. Эффективность использования таких систем зависит от многих факторов, в том числе от совместимости компонентов на молекулярном уровне [3]. Одной из основных проблем, с которыми приходится сталкиваться при использовании пластификаторов в топливных системах, является миграция молекул пластификатора, степень которой зависит от термодинамической совместимости пластификатора и полимерного связующего.

Целью настоящей работы явилось исследование термодинамической совместимости дибутилфталата (пластификатора) с каучуками, используемыми в производстве топливных элементов [3].

Экспериментальная часть

Для экспериментальной оценки термодинамической совместимости компонентов в растворах полимеров существует множество методов [4]. Наибольшее распространение получили оптические методы построения фазовых диаграмм растворов полимеров, на которых температурно-концентрационные области совместимых и несовместимых составов разделены пограничными кривыми ликвидуса

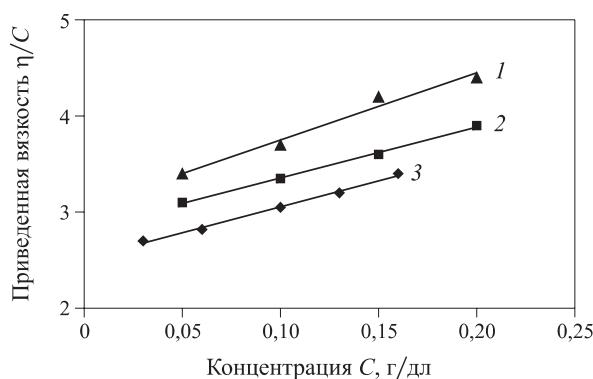


Рис. 1. Концентрационные зависимости приведенной вязкости толуольных растворов каучуков: 1 — СКИ-3; 2 — СКД; 3 — СКН-18

Характеристическая вязкость η растворов каучуков в толуоле при $T = 303$ К

| Система | Значения η , дL/г |
|------------------------|------------------------|
| СКН-18 – дибутилфталат | 2,55 |
| СКД – дибутилфталат | 2,80 |
| СКИ-3 – дибутилфталат | 3,05 |

(при кристаллическом разделении) или бинодальми (при аморфном фазовом разделении). За температуру фазового разделения, при которой компоненты становятся несовместимыми, принимают температуру устойчивой опалесценции раствора.

Для исследования были выбраны следующие полимеры: синтетический дивиниловый каучук (СКД), изопреновый каучук (СКИ-3) и нитрильный каучук (СКН-18). Образцы предоставлены ЗАО “Уралэластотехника” (г. Екатеринбург). Полимеры не подвергали дополнительной очистке и фракционированию. Для характеристики каучуков были определены значения характеристической вязкости их толуольных растворов [5]. На рис. 1 показаны концентрационные зависимости приведенной вязкости растворов каучуков. В таблице приведены значения характеристической вязкости растворов, полученные экстраполяцией зависимостей (см. рис. 1) на нулевую концентрацию полимера в растворе. Из этих данных следует, что образец СКН-18 имеет самую низкую характеристическую вязкость и, следовательно, наименьшую из исследуемых каучуков молекулярную массу.

Фазовые диаграммы получали методом Алексеева (методом точек помутнения). На рис. 2 представлены фазовые диаграммы изученных систем в координатах температура — концентрация (% масс.) каучука в растворе. Обнаружено, что все системы обладают верхней критической температурой растворения (ВКТР), т. е. в растворах всех каучуков

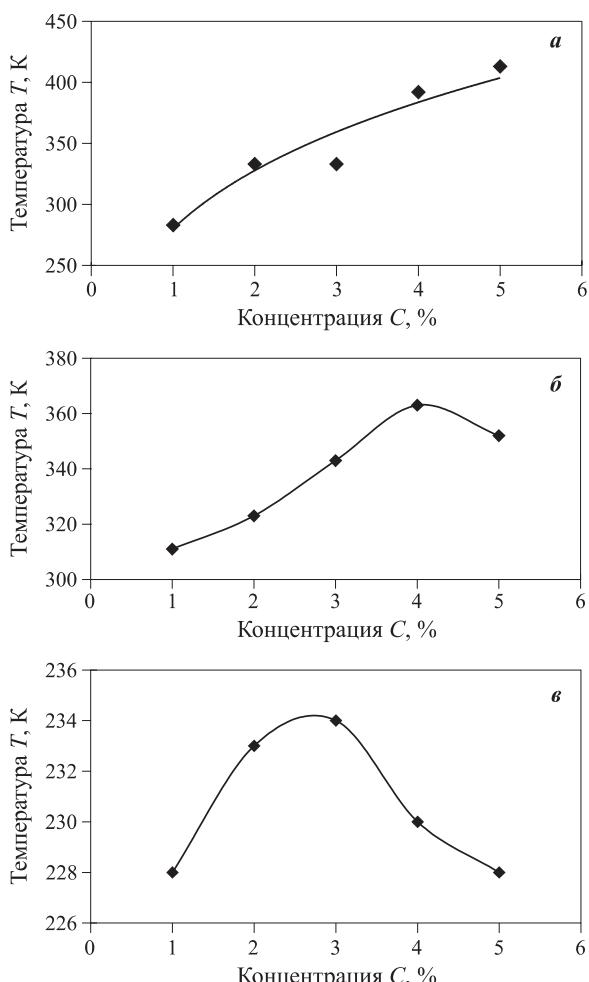


Рис. 2. Фазовые диаграммы систем СКИ-3 – дибутилфталат (а), СКД – дибутилфталат (б) и СКН-18 – дибутилфталат (в)

происходит фазовое разделение при охлаждении. Пограничные кривые имеют форму, характерную для аморфного расслаивания [6, 7]; в области под пограничной кривой находятся гетерогенные системы. Из сопоставления фазовых диаграмм видно, что наиболее высокие значения температур фазового разделения наблюдаются для растворов изопренового каучука. При переходе к растворам дивинилового каучука температуры фазового разделения понижаются. Это связано с уменьшением молекулярной массы полимера и изменением структуры макромолекулы: дивиниловый каучук не содержит боковых CH_3 -групп, которые есть в изопреновом каучуке, поэтому СКД в большей степени совместим с дибутилфталатом. Самые низкие значения температур фазового разделения наблюдаются для растворов нитрильного каучука. Это обусловлено, во-первых, диполь-дипольным взаимодействием CN -групп каучука СКН-18 с C=O -группами пластификатора и, во-вторых, наименьшей (из трех образцов каучуков) молекулярной массой.

Из сопоставления полученных фазовых диаграмм можно сделать вывод о повышении совместности компонентов в ряду систем: СКД – дибутилфталат, СКИ-3 – дибутилфталат, СКН-18 – дибутилфталат.

Полученные фазовые диаграммы могут быть использованы для прогнозирования эффективности работы топлива с известным содержанием каучука

и дибутилфталата, так как на них отражены диапазоны концентраций и температур, в которых данные компоненты несовместимы, что существенно сказывается на скорости горения.

Авторы благодарят А. С. Чертинина за участие в проведении эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь. — М. : Янус-К, 1999. — 596 с.
2. Тагер, А. А. Физикохимия полимеров / А. А. Тагер. — М. : Химия, 1978. — 544 с.
3. Талавар, М. Новые тенденции в области создания перспективных высокоЭнергетических материалов / М. Талавар, Р. Сивабалан, М. Аннияппан [и др.] // Физика горения и взрыва. — 2007. — Т. 43, № 1. — С. 72–85.
4. Вшивков, С. А. Методы исследования фазового равновесия в растворах полимеров / С. А. Вшивков. — Свердловск : Изд-во Уральского гос. ун-та, 1991. — 98 с.
5. Будтов, В. П. Физическая химия растворов полимеров / В. П. Будтов. — СПб. : Химия, 1992. — 253 с.
6. Русинова, Е. В. Термодинамика смесей каучуков / Е. В. Русинова // Известия вузов. Химия и хим. технология. — 2006. — Т. 49, вып. 1. — С. 96–99.
7. Папков, С. П. Равновесие фаз в системе полимер – растворитель / С. П. Папков. — М. : Химия, 1981. — 272 с.

Материал поступил в редакцию 11 ноября 2009 г.

*© Русинова Е. В., Евтихов С. А., 2010 г.
(e-mail: elena.rusinova@usu.ru, monomer2000@mail.ru).*



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Представляет новую книгу

«ПОЖНАУКА»

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В данном пособии рассматриваются вопросы классификации, выбора и применения огнетушителей, приведены нормативно-технические документы, применяемые при проведении пожарно-профилактических мероприятий на предприятиях, в частности СП 9.13130.2009 "Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации".

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

Издание разработано на основе современной нормативно-правовой базы, в том числе с учетом обязательных для исполнения требований «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» (Федеральный закон №123-ФЗ), а также положений, изложенных в сводах правил и национальных стандартах.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



А. Д. Галеев

канд. техн. наук, доцент,
Казанский государственный
технологический университет,
г. Казань, Республика Татарстан



С. И. Поникаров

д-р техн. наук, профессор,
Казанский государственный
технологический университет,
г. Казань, Республика Татарстан

УДК 614.83

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОГО ОБЛАКА ПРИ ИСПАРЕНИИ С ПОВЕРХНОСТИ АВАРИЙНОГО ПРОЛИВА НЕФТИ

Представлена модель, описывающая процесс испарения с поверхности аварийного пролива нефти. Модель также позволяет определять изменение во времени и пространстве массы взрывоопасных паров в облаке, ограниченном концентрационными пределами распространения пламени.

Ключевые слова: испарение нефти, численное моделирование, взрывоопасное облако.

Обеспечение безопасности взрывопожароопасных промышленных объектов предполагает использование процедуры анализа и оценки риска аварий, основу которой составляет определение последствий и вероятности нежелательных событий. Один из важных этапов оценки риска аварий на таких объектах — определение количества опасного вещества, способного участвовать в образовании взрывоопасной смеси. Для решения данной задачи необходимо знание количественных характеристик процесса испарения со свободной поверхности. Многие горючие жидкости, обращающиеся на производстве, представляют собой сложные смеси, состоящие из большого количества компонентов. Процесс испарения с поверхности аварийных разливов таких жидкостей носит нестационарный характер, обусловленный изменением со временем состава жидкой фазы. К тому же значительное влияние на интенсивность испарения будет оказывать динамика потока над поверхностью пролива из-за образования паровоздушной смеси с плотностью, отличающейся от плотности воздуха, и взаимного влияния процессов испарения и дисперсии примеси в атмосфере. Имеющиеся эмпирические корреляции и аналитические формулы не учитывают перечисленных факторов, что обуславливает необходимость совершенствования математической модели испарения.

В данной статье представлен комплекс моделей, позволяющих рассчитывать массовый поток паров при испарении со свободной поверхности пролива нефти и определять массу горючего вещества в об-

лаке с суммарной концентрацией горючих компонентов в диапазоне между нижним (НКПР) и верхним (ВКПР) концентрационными пределами распространения пламени. Модель базируется на численном решении трехмерных нестационарных уравнений гидродинамики и тепломассообмена.

Математическая модель испарения нефти

При разработке модели испарения нефти были сделаны следующие допущения:

- смесь компонентов идеальна;
- взаимное влияние процессов молекулярной диффузии компонентов (приближение независимой диффузии) не учитывается.

Допущение о независимой диффузии является приемлемым для паровоздушных смесей, малые доли компонентов в которых малы по сравнению с концентрацией воздуха [1].

Нефть представлена дискретной смесью, состоящей из фиксированного числа условных компонентов (псевдокомпонентов), каждый из которых соответствует узкой фракции на кривой истинных температур кипения (ИТК). Разбиение смеси на псевдокомпоненты и расчет для них свойств проводились с помощью программы моделирования химико-технологических систем ChemCAD.

Концентрация пара i -го компонента на поверхности жидкости определялась исходя из гипотезы о термодинамическом равновесии между жидкостью и ее паром у поверхности раздела. Согласно закону

Рауля мольная доля пара i -го компонента на межфазной границе

$$Y_{i,w} = X_i \frac{P_{ni}(T_l)}{P_0}, \quad (1)$$

где $Y_{i,w}$ — мольная доля пара i -й примеси на границе раздела фаз;

X_i — мольная доля компонента в жидкой фазе;
 $P_{ni}(T_l)$ — давление насыщенных паров i -го компонента жидкости при температуре T_l , Па;
 T_l — температура жидкой фазы, К;
 P_0 — давление в окружающей среде, Па.

Зависимость давления насыщенных паров компонентов жидкости от температуры аппроксимировалась уравнением согласно данным, полученным с помощью программы ChemCAD:

$$P_{ni}(T_l) = A_i T_l^4 + B_i T_l^3 + C_i T_l^2 + D_i T_l + E_i, \quad (2)$$

где A_i, B_i, C_i, D_i, E_i — коэффициенты.

Массовый поток i -го компонента с поверхности пролива определялся на основе стандартных функций стенки [2] с учетом поправки на стефановский поток (конвективный поток парогазовой смеси, индуцируемый диффузионным потоком компонентов при непроницаемой поверхности раздела фаз и направленный от поверхности жидкости в парогазовую среду):

$$J_{i,w} = \frac{1}{K_s} \frac{(C_{i,w} - C_{i,P}) \rho u_*}{C^+}; \quad (3)$$

$$C^+ = \begin{cases} Sc_i y^+ & \text{при } y^+ < y_C^+ \\ Sc_t(u^+ + P_C) & \text{при } y^+ > y_C^+ \end{cases} \quad (4)$$

$$y^+ = \frac{\rho u_* y_P}{\mu}; \quad (5)$$

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(E y^+) - \Delta B;$$

$$\Delta B = \frac{1}{\kappa} \ln(1 + C_z z_{0l}^*);$$

$$z_{0l}^* = \frac{\rho z_{0l} u_*}{\mu}; \quad (6)$$

$$P_C = 9,24 \left[\left(\frac{Sc_i}{Sc_t} \right)^{3/4} - 1 \right] [1 + 0,28 e^{-0,007 Sc_i / Sc_t}]; \quad (7)$$

$$K_s = 1 - \sum Y_{i,w}, \quad (8)$$

где $J_{i,w}$ — массовый поток i -го компонента с поверхности аварийного пролива, кг/(м²·с);

K_s — коэффициент, учитывающий влияние на интенсивность испарения стефановского потока;
 $C_{i,w}$ — массовая концентрация i -й примеси на границе раздела фаз, кг/кг;
 $C_{i,P}$ — концентрация i -й примеси в пристеночном узле расчетной сетки, кг/кг;

ρ — плотность паровоздушной смеси, кг/м³;

u_* — скорость трения; $u_* = (\tau_w / \rho)^{0.5}$;

τ_w — напряжение трения на стенке;

Sc_i и Sc_t — молекулярное и турбулентное числа Шмидта соответственно;

y_P — расстояние по нормали от поверхности испарения (стенки) до соседнего узла расчетной сетки;

μ — коэффициент молекулярной динамической вязкости;

κ — константа Кармана, равная 0,41;

E — константа в логарифмическом законе стенки для скорости, равная 9,1;

y_C^+ — безразмерное расстояние от стенки, определяемое в точке пересечения линейного и логарифмического закона изменения концентрации у стенки;

C_z — коэффициент;

z_{0l} — высота шероховатости твердой поверхности, прилегающей к проливу.

Вывод уравнения (8) для определения поправки на стефановский поток представлен в работе [3].

Определенная таким образом интенсивность испарения $J_{i,w}$ использовалась в качестве граничного условия в области источника в задаче эволюции взрывоопасного газа, включающей численное решение полной системы трехмерных нестационарных уравнений Рейнольдса, замыкаемых уравнением состояния идеального газа и стандартной $k-\epsilon$ -моделью турбулентности. Для дискретизации дифференциальных уравнений применялся метод контрольного объема, реализованный в пакете FLUENT.

Плотность газовоздушной смеси ρ (кг/м³) определяется по уравнению состояния идеального газа с учетом влияния массовых концентраций компонентов:

$$\rho = \frac{P_0}{R_0 T \sum C_i / M_i}, \quad (9)$$

где R_0 — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T — температура паровоздушной смеси, К;

C_i — массовая доля i -го компонента в смеси;

M_i — молекулярная масса i -го компонента, кг/моль.

Границные профили скорости и турбулентных характеристик на входе в расчетную область (рис. 1) определялись из численного решения задачи движения воздушного потока над ровной поверхностью. В силу симметрии задачи рассматривалась только половина области.

Необходимым условием использования пристеночных функций является достаточное удаление расчетного узла P от w (рис. 2), для того чтобы первый

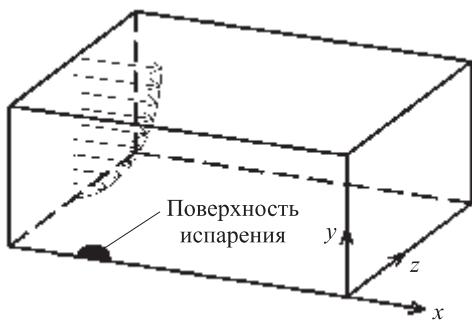


Рис. 1. Геометрия расчетной области

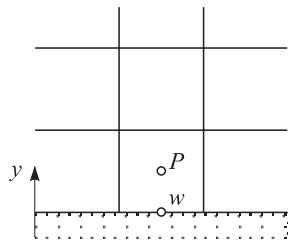


Рис. 2. Расположение пристеночного узла расчетной сетки

попал в область турбулентного ядра пограничного слоя. Учитывая данное условие, вертикальный размер пристенных ячеек задавали равным 0,2 м.

Изменение температуры жидкости рассчитывалось из уравнения теплового баланса:

$$\frac{dT_l}{d\tau} = \frac{q_a + q_n - q_{\text{исп}}}{\sum m_{li} C_{pli}}, \quad (10)$$

где τ — время, с;

q_a — тепловой поток из атмосферы, Вт/м²;

q_n — поток тепла от грунта к жидкости, Вт/м²;

$q_{\text{исп}}$ — теплота, отводимая от жидкости при испарении, Вт/м²;

m_{li} — масса i -го компонента жидкости, отнесенная к единице площади поверхности пролива, кг/м²;

C_{pli} — удельная теплоемкость i -го компонента жидкости, Дж/(кг·К).

Тепловой поток, подводимый от грунта к жидкой фазе ($q_n = \lambda(\partial T / \partial y)_{y=0}$), определялся из численного решения трехмерного нестационарного уравнения теплопроводности для твердого подстилающего слоя:

$$C_n \rho_n \frac{\partial T_n}{\partial t} = \lambda_n \left(\frac{\partial^2 T_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_n}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_n}{\partial z^2} \right), \quad (11)$$

где $T_n(x, y, z)$ — распределение температур в слое грунта;

C_n, ρ_n, λ_n — теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности грунта соответственно.

При решении уравнения (11) для твердой поверхности, прилегающей к проливу, задавалось условие $T_n = T_l$.

Тепловой поток из атмосферы q_a вычислялся с помощью пристеночных функций, описание которых приведено в работе [3].

Теплота, отводимая от жидкости при испарении:

$$q_{\text{исп}} = \sum \Delta H_i \cdot J_{i,w}, \quad (12)$$

где ΔH_i — теплота испарения i -го компонента жидкой фазы, Дж/кг.

Изменение массы i -го компонента в жидкой фазе описывается уравнением

$$\frac{dm_{li}}{d\tau} = -J_{i,w}. \quad (13)$$

В рассматриваемой задаче удельная теплоемкость, коэффициенты молекулярной вязкости и теплопроводности паровоздушной смеси определялись через массовые доли и удельные теплоемкости, коэффициенты молекулярной вязкости и теплопроводности чистых компонентов:

$$\phi = \sum C_i \cdot \phi_i, \quad (14)$$

где ϕ и ϕ_i — физические свойства соответственно смеси и ее i -го компонента.

Коэффициенты молекулярной диффузии компонентов в воздухе вычислялись по формуле [4]:

$$D_{mi} = \frac{10^{-7} T^{1.75}}{P(v_i^{1/3} + v_a^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_i} + \frac{1}{M_a}}, \quad (15)$$

где P — давление, атм;

v — молекулярный объем газа, определяемый как сумма атомных объемов элементов, входящих в состав газа;

M — молекулярная масса газа, кг/кмоль.

Индексы “ i ” и “ a ” в формуле (15) относятся соответственно к компоненту пара и воздуху. Количество атомов углерода и водорода в суммарной формуле псевдокомпонента определялось по значению средней молекулярной массы.

Пример практического применения модели

Для иллюстрации практического использования разработанной методики был проведен численный анализ процесса формирования взрывоопасного облака при испарении с поверхности аварийного пролива нефти.

Кривая ИТК нефти принималась по лабораторным данным нефтеперерабатывающего предприятия.

Рассматривались два сценария аварийной ситуации:

- *сценарий № 1:* гильотинный разрыв емкости объемом 100 м³ с выбросом всего содержимого, разлив нефти на подстилающую поверхность, испарение нефти со свободной поверхности, образование взрывоопасного облака;

- сценарий № 2: частичное разрушение емкости с выбросом 10 % содержимого емкости, разлив нефти на подстилающую поверхность, испарение нефти со свободной поверхности, образование взрывоопасного облака.

Для расчета принимался следующий состав нефти (% масс.): пропан — 0,34; н-бутан — 0,82; изобутан — 0,23; н-пентан — 0,95; изопентан — 0,66; TK54 — 0,7; TK70 — 3,23; TK90 — 1,6; TK110 — 1,55; TK130 — 3,0; TK150 — 4,49; TK170 — 2,38; TK210 — 5,93; TK280 — 11,3; TK360 — 10,11; TK450 — 18,11; TK594 — 34,6.

Примечание. Аббревиатура ТК... обозначает среднюю температуру кипения узкой фракции.

Температура окружающей среды задавалась равной 38 °C. Состояние атмосферы — изотермия. Скорость ветра на высоте 10 м — 1 м/с.

Принималось, что площадка, на которой размещена емкость, ограничена обвалованием и имеет площадь 900 м². Исходя из расчета, что 1 л жидкости разливается на площади 0,15 м² [5], получено, что при полном и частичном разрушении емкости нефть растекается по всей поверхности площадки. Длительность испарения жидкости принималась равной 3600 с [5].

Другие параметры, остававшиеся постоянными, имели следующие значения: высота шероховатости твердой поверхности $z_0 = z_{0f} = 0,01$ м, $\lambda_n = 1,28$ Вт/(м·К), $C_n = 1130$ Дж/(кг·К), $\rho_n = 2300$ кг/м³.

Начальная температура жидкости принималась равной температуре окружающей среды.

Проводилось сравнение результатов расчетов скорости испарения, полученных с использованием разработанной методики и полуэмпирического уравнения [6]:

$$\frac{dm_{li}}{d\tau} = - \frac{k M_i P_{ni}(T_l)}{R_0 T_l} X_i, \quad (16)$$

где k — коэффициент массоотдачи, м/с;

M_i — молекулярная масса i -го компонента, кг/моль.

Коэффициент массоотдачи k рассчитывается по формуле [7]:

$$k = 17,231 U^{0,78} D^{-0,11} Sc_i^{-0,67}, \quad (17)$$

где U — скорость ветра на высоте 10 м, м/с;

D — диаметр пролива, м.

На рис. 3 представлены значения удельной массы испарившейся жидкости $m_{исп}$ в зависимости от времени испарения τ , рассчитанные с использованием уравнения (16) и разработанной модели.

Из данных рис. 3 видно, что при одинаковой площади пролива масса паров, поступивших в окружающее пространство, в значительной степени зависит от толщины слоя пролитой жидкости. Так, при ре-

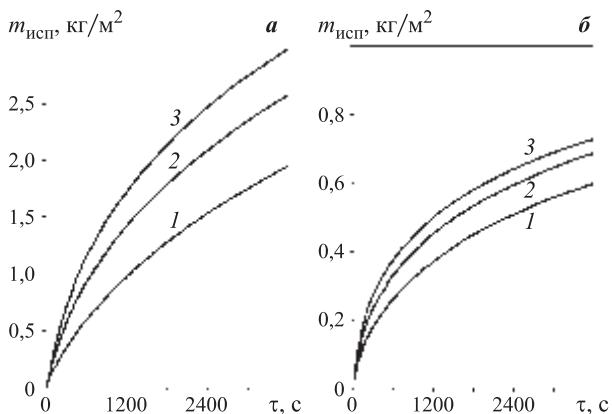


Рис. 3. Зависимость удельной массы $m_{исп}$ испарившейся жидкости от времени τ при полном разрушении (a) и частичной разгерметизации (b) емкости: 1 — численный метод; 2 — численный метод, без учета влияния силы тяжести; 3 — расчет по уравнению (16)

ализации сценария № 1 количество испарившейся жидкости за рассматриваемый промежуток времени в 3,2 раза превышает значение, полученное для сценария № 2. Удельная масса испарившейся жидкости, определенная по уравнению (16), при реализации сценария № 1 примерно в 1,5 раза, а сценария № 2 в 1,2 раза превышает соответствующее значение, рассчитанное по численной модели. Уравнение (16) не учитывает изменения гидродинамических характеристик потока над поверхностью пролива в результате образования паровоздушной смеси с плотностью, отличающейся от плотности воздуха. Компоненты, образующиеся при испарении, имеют плотность, превышающую плотность воздуха, и, соответственно, при смешении с воздухом образуют тяжелую паровоздушную смесь. Отрицательный вертикальный градиент плотности (устойчивая стратификация) вызывает подавление турбулентности в облаке. Уравнение (16) не учитывает также падения движущей силы процесса диффузии вследствие образования над поверхностью пролива высоких концентраций паров.

Рис. 4 демонстрирует влияние тяжелого газа на турбулентный обмен. В начальный период испарения происходит резкое подавление турбулентности вследствие интенсивного испарения и образования над проливом высоких концентраций тяжелых примесей. Далее происходит постепенный рост коэффициента турбулентной вязкости, обусловленный уменьшением содержания легколетучих компонентов в жидкой фазе и, соответственно, снижением интенсивности испарения. Из рис. 4 видно, что при развитии сценария № 2 эффект устойчивой стратификации выражен слабее, так как концентрации примесей над проливом ниже, чем в случае реализации сценария № 1, вследствие более резкого уменьшения содержания легколетучих компонентов

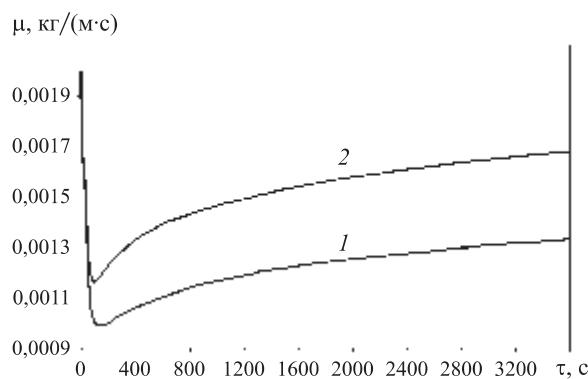


Рис. 4. Динамика турбулентной вязкости μ_t над поверхностью пролива во времени t : 1 — сценарий № 1; 2 — сценарий № 2

в жидкости и, соответственно, снижения интенсивности испарения.

Для сравнения было выполнено численное моделирование процесса испарения без учета влияния силы гравитации. Из рис. 3 видно, что без учета влияния гравитационных эффектов значение массы испарившейся жидкости будет завышено на 32 % для сценария № 1 и на 15 % для сценария № 2.

К изменению интенсивности испарения приводит также снижение температуры за счет испарения компонентов. При реализации сценария № 1 жидкость за рассматриваемый промежуток времени охладилась на $4,1^\circ\text{C}$, сценария № 2 — на $5,8^\circ\text{C}$. Снижение температуры жидкости в результате испарения компенсируется в большей степени подводом тепла от твердой поверхности.

Горючие пары, смешиваясь с воздухом, образуют взрывоопасные смеси. Взрывоопасной называется смесь, для которой значения концентрации горючего газа лежат в диапазоне, ограниченном НКПР и ВКПР. Обозначим массу газа, способного участвовать в горении, как m_v , а отношение m_v к общему количеству испарившейся жидкости как Z . Масса m_v определяется путем интегрирования:

$$m_v = \iiint_{\Sigma_{\text{НКПР}} < V < \Sigma_{\text{ВКПР}}} C(x, y, z, t) dx dy dz, \quad (18)$$

где $C(x, y, z, t)$ — суммарная концентрация компонентов паров бензина, kg/m^3 ;

$\Sigma_{\text{НКПР}}$ и $\Sigma_{\text{ВКПР}}$ — поверхности, ограничивающие область между НКПР и ВКПР. Значения НКПР и ВКПР принимались равными соответственно 1 и 6 % об.

Нестационарное воздействие источника является причиной изменения m_v с течением времени (рис. 5). Максимальное значение m_v достигается по истечении примерно 8 мин при развитии сценария № 1 и 3 мин — сценария № 2.

Масса горючих паров, способных участвовать в горении, снижается со временем. При частичной раз-

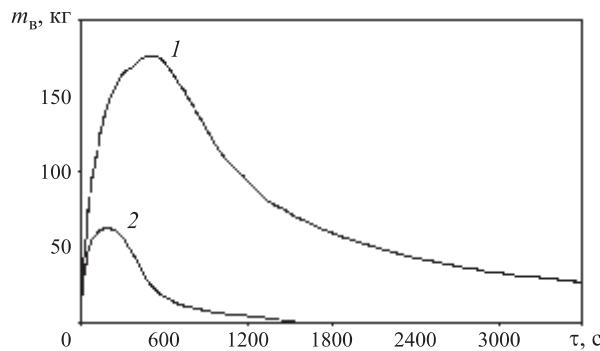


Рис. 5. Зависимость m_v от времени t : 1 — сценарий № 1; 2 — сценарий № 2

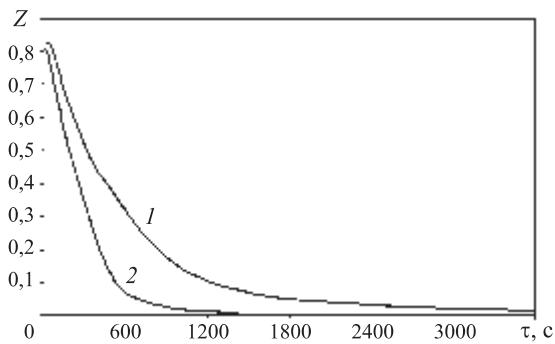


Рис. 6. Зависимость относительного количества газа, способного участвовать в горении, Z от времени t : 1 — сценарий № 1; 2 — сценарий № 2

герметизации емкости (сценарий № 2) по истечении 25 мин взрывоопасные концентрации не образуются.

На рис. 6 представлена зависимость относительного количества газа, способного участвовать в горении, Z от продолжительности испарения. Из данных рис. 6 видно, что в случае реализации сценария № 2 значения Z ниже, чем при реализации сценария № 1, в силу того, что при меньшей интенсивности испарения выше доля паров, разбавленных до безопасных значений концентраций.

Отношение максимального значения m_v к суммарному количеству паров, образующихся за время 3600 с, составило 0,1 для сценария № 1, 0,11 — для сценария № 2. Данные значения согласуются с рекомендуемыми нормативными методиками при оценке последствий аварийных взрывов на открытых пространствах ($Z = 0,1$).

Результаты численного моделирования показали, что динамика формирования взрывоопасного облака при испарении с поверхности аварийного пролива существенно зависит от толщины слоя разлитой жидкости. Корректное определение массы реагирующей смеси важно при оценке потенциала взрывоопасности технологических блоков и определении ожидаемых последствий аварий в рамках процедуры анализа риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Франк-Каменецкий, Д. А.** Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 502 с.
2. Fluent Inc. Fluent 6.1. User's Guide, Lebanon, 2003.
3. **Галеев, А. Д.** Прогнозирование зон токсической опасности и пожаровзрывоопасности при авариях на объектах хранения нефтепродуктов / А. Д. Галеев, С. И. Поникаров // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 5. — С. 29–34.
4. **Рид, Р.** Свойства газов и жидкостей : справочное пособие / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. — Л. : Химия, 1982. — 592 с.
5. **НПБ 105–03.** Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрыво-пожарной и пожарной опасности : утв. Приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. № 314 : ввод. в действие 1 августа 2003 г. — М. : ГУГПС, 2003.
6. **Reed, M.** A coastal zone oil spill model: development and sensitivity studies / M. Reed, E. Gundlach, T. A. Kana // Oil and Chemical Pollution. — 1989. — № 5. — P. 441–449.
7. **Kawamura, P. I.** The evaporation of volatile liquids / P. I. Kawamura, D. Mackay // Journal of Hazardous Materials. — 1987. — Vol. 15. — P. 343–364.

Материал поступил в редакцию 16 декабря 2009 г.

© Галеев А. Д., Поникаров С. И., 2010 г.

(e-mail: galeev_ainur@mail.ru).



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Представляем новую книгу

«ПОЖНАУКА»



СВОДЫ ПРАВИЛ.
Системы противопожарной
защиты. — 2009. — 618 с.

С мая 2009 г. введен в действие Федеральный закон № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (полный текст закона опубликован в журнале «Пожаровзрывобезопасность». — 2009. — Т. 18, № 1).

С вступлением в силу указанного закона теряют свое значение многочисленные Нормы пожарной безопасности (НПБ), Строительные нормы и правила (СНиП), регламентировавшие требования пожарной безопасности к зданиям и сооружениям. В качестве нормативных документов добровольного применения введены Своды правил (СП) и Государственные стандарты.

Настоящий сборник включает Своды правил, которые рекомендуются для применения проектными, строительными и эксплуатирующими строительные объекты организациями при решении вопросов обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: firepress@gmail.com



С. В. Пузач

заслуженный деятель науки РФ,
д-р техн. наук, профессор, начальник
кафедры Академии Государственной
противопожарной службы МЧС России,
г. Москва, Россия



Е. С. Абакумов

преподаватель Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС России, г. Москва, Россия

УДК 614.841

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ ПОЖАРА В ВЫСОКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Исследованы особенности термогазодинамической картины пожара при горении горючей жидкости в высоких помещениях с учетом времени стабилизации горения. Представлены результаты расчета динамики опускания нижней границы припотолочного газового слоя с использованием различных зонных подходов и полевой модели. Проведено сравнение с экспериментальными данными. Показано, что при использовании зонной математической модели необходимо учитывать форму конвективной колонки, образующейся над источником горения. Отмечено, что применение приближения неограниченной свободно-конвективной струи для описания параметров конвективной колонки не отражает реальной термогазодинамической картины развития пожара.

Ключевые слова: конвективная колонка; припотолочный газовый слой; тепломассообмен.

Необходимое время эвакуации людей при пожаре в высоких помещениях (машины залы ГЭС, атриумы, пассажи, склады и т. д.) в соответствии с методикой расчета [1] можно определять с использованием зонной модели (в которой линейные размеры помещения простой геометрической конфигурации отличаются друг от друга не более чем в 5 раз) или полевой модели.

В традиционном зонном подходе конвективная колонка, образующаяся над источником горения, рассматривается как неограниченная свободно-конвективная струя. Расчет скорости опускания нижней границы газового задымленного нагретого припотолочного слоя в случае применения такого метода расчета, как показано в работах [2–4], приводит к существенной погрешности (до 500 %) в области, находящейся выше отметки, равной 30–40 % от высоты помещения, при горении твердого горючего материала [2, 3] и горючего газа с постоянной тепловой мощностью [4].

В данной работе описаны исследования особенностей термогазодинамической картины пожара в случае горения горючей жидкости при постоянной мощности тепловыделения с учетом времени стабилизации горения с использованием модифицированной зонной модели [2–4], учитывающей влияние перекрытия помещения на параметры колонки.

Зонная модель расчета тепломассообмена при пожаре

Для расчета тепломассообмена используется трехзонная модель, в которой объем помещения

разбит на зоны конвективной колонки, припотолочного слоя и холодного воздуха [5]. В отличие от метода расчета, описанного в [5], в данной модели учтено, что нижняя граница припотолочного слоя может находиться ниже верхнего среза открытого проема. Аналогичный случай был рассмотрен ранее, в работе [6].

Принципиальная схема тепломассообмена в помещении для случая применения трехзонной модели и работы системы дымоудаления и приточной вентиляции представлена на рис. 1. Стрелками указаны направления течения газовой смеси и тепловые потоки.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: Ψ_r — массовая скорость газификации горючего материала; G_a, G_m — массовые расходы соответственно поступающего воздуха и истекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы; W_m, W_a — объемные расходы соответственно системы дымоудаления и приточной вентиляции; Q_{np} — тепловой поток, излучаемый через открытые проемы наружу; Q_c, Q_{w1}, Q_{w2}, Q_f — суммарные (конвекция и излучение) тепловые потоки, поступающие соответственно в потолок, стены (ниже и выше нижней границы припотолочного слоя) и пол.

Для определения массовых расходов и средних температур газовой смеси в поперечных сечениях конвективной колонки использованы два подхода:

- точечный источник тепловыделения находится ниже поверхности горючего материала (полуэмпирический метод расчета [5, 7]);

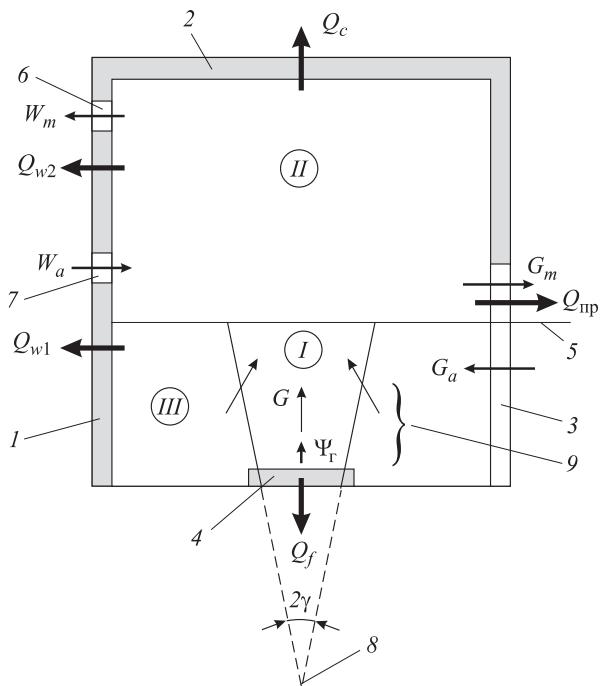


Рис. 1. Схема расчета тепломассообмена в помещении:
1 — стены; 2 — перекрытие; 3 — открытый проем; 4 — горючий материал; 5 — нейтральная плоскость (нижняя граница припотолочного слоя); 6 — система дымоудаления; 7 — система приточной вентиляции; 8 — точечный “фиктивный” источник теплоты; 9 — высота пламенной зоны; I — зона конвективной колонки; II — зона нагретого задымленного припотолочного слоя; III — зона холодного воздуха

- распределенный источник тепловыделения находится выше поверхности горючего материала (эмпирический [8] и полуэмпирический [2, 3] метод расчета).

При первом подходе [5, 7]:

$$G = 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{c_p T_0} \right]^{1/3} (z + z_0)^{5/3}; \quad (1)$$

$$T = T_0 + \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{c_p G}, \quad (2)$$

где G — массовый расход газов через поперечное сечение колонки, отстоящее по высоте от поверхности горения на расстояние z , кг/с;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_0 — плотность холдного воздуха в помещении, кг/м³;

$Q_{\text{пож}}$ — тепловая мощность, выделяющаяся в очаге горения, Вт;

χ — доля, приходящаяся на поступающий в ограждения тепловой поток от выделившейся в очаге горения тепловой мощности; $\chi = Q_{wI}/Q_{\text{пож}}$;

Q_{wI} — тепловая поток, поступающий в ограждения, Вт;

c_p — удельная изобарная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);

T_0 — температура холдного воздуха в помещении, К;

z — координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от поверхности горения, м;

z_0 — расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горения, м;

T — средняя температура в сечении конвективной колонки, К.

При втором подходе уравнения для массового расхода в сечении конвективной колонки в случае использования эмпирического метода имеют вид [8]:

- при $z \leq z_f$:

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

- при $z > z_f$:

$$G = 0,032 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{1000} \right)^{3/5} z, \quad (4)$$

где z_f — высота пламенной зоны, м;

$$z_f = 0,166 \left(\frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{1000} \right)^{2/5}.$$

При использовании полуэмпирического метода [2, 3] массовый расход находится из решения дифференциального уравнения

$$\frac{dG}{dz} = \frac{Bz(r + z \operatorname{tg} \gamma)^4}{T_0 A G(GT_0 + Bz)} + \frac{2G \operatorname{tg} \gamma}{r + z \operatorname{tg} \gamma} - \frac{B}{T_0} \left(1 - \frac{2z \operatorname{tg} \gamma}{r + z \operatorname{tg} \gamma} \right), \quad (5)$$

где B — размерный параметр, кг·К/(м·с);

$$B = \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \chi)}{z_f c_p};$$

r — радиус поверхности горючего материала, м;

γ — угол полураскрытия конвективной колонки, рад;

A — размерный параметр, с²·м⁵/(кг²·К);

$$A = \frac{T_0 R^2}{g p_0^2 \pi^2};$$

R — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К).

Средняя температура в сечении конвективной колонки определяется по формуле (2).

Высота нижней границы припотолочного слоя с учетом того, что $(Q_{wI} + Q_{w2} + Q_c + Q_f)/Q_{\text{пож}} = \varphi$, находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя:

$$\frac{dz_k}{d\tau} = - \frac{G_k}{\rho_0 F_{\text{п}}} - \frac{Q_{\text{пож}} (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 F_{\text{п}}} - \frac{G_m T_2}{\rho_0 T_0 F_{\text{п}}}, \quad (6)$$

где z_k — высота нижней границы припотолочного слоя, м;

G_k — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочную зону, кг/с;

F_n — площадь потолка, м²;

T_2 — среднеобъемная температура в припотолочном слое, К.

Начальное условие (при $\tau = 0$) имеет вид: $z_k = H - \delta$, где H — высота помещения, м; δ — толщина горючего материала, м.

Уравнение (6) решается численным методом Рунге–Кутта 4-го порядка точности.

Среднеобъемные температура и плотность в припотолочном слое находятся из решения соответственно дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа:

$$V \frac{d\rho_2}{d\tau} = G_k - G_m; \quad (7)$$

$$p_2 \approx p_0 = \rho_2 R T_2, \quad (8)$$

где p_2 — давление в зоне II, Па;

ρ_2 — среднеобъемная плотность в припотолочном слое, кг/м³;

p_0 — давление наружного воздуха при $z = 0$, Па;

R — газовая постоянная (принимается, что газовые постоянные воздуха и смеси продуктов горения и воздуха равны [5]), Дж/(кг·К).

Полевая (дифференциальная) модель расчета тепломассообмена

Для расчета тепломассообмена используется полевой метод, описанный в [9]. При этом решаются трехмерные нестационарные дифференциальные уравнения Рейнольдса.

Обобщенное дифференциальное уравнение имеет вид [10]:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho \Phi) + \operatorname{div}(\rho w \Phi) = \operatorname{div}(\Gamma \operatorname{grad} \Phi) + S, \quad (9)$$

где τ — время с момента начала пожара, с;

ρ — плотность газовой смеси, кг/м³;

Φ — зависимая переменная (энталпия газовой смеси, проекции скорости на координатные оси, концентрации компонентов газовой смеси (O_2 , CO , CO_2 , N_2 , продукты газификации горючего материала), оптическая плотность дыма, кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации);

w — скорость газовой смеси, м/с;

Γ — коэффициент диффузии для Φ ;

S — источниковый член.

Лучистый теплоперенос определяется с помощью метода моментов (диффузационная модель). Ра-

диационная составляющая источникового члена в уравнении энергии

$$S_r = -\frac{4\pi}{3} \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right), \quad (10)$$

где I — интенсивность излучения, Вт/м²; находится из решения уравнения

$$\frac{1}{\beta} \left(\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right) = 3\chi(I - I_b); \quad (11)$$

β — интегральный коэффициент ослабления излучения, м⁻¹;

x, y, z — координаты вдоль длины, ширины и высоты помещения соответственно, м;

χ — интегральный коэффициент излучения, м⁻¹;

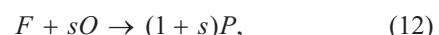
I_b — интенсивность излучения абсолютно черного тела, Вт/м²; $I_b = \sigma T^4$;

σ — постоянная излучения абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴);

T — температура газовой среды, К.

Локальные значения коэффициентов излучения и поглощения радиационной энергии определяются с использованием локальных величин оптической плотности дыма [9].

Реакция горения рассматривается как одноступенчатая и необратимая:



где F, O, P — продукты газификации горючего материала, окислитель (кислород воздуха) и продукты реакции соответственно;

s — коэффициент.

Скорость реакции (12) с учетом влияния на нее турбулентности (диффузионно-вихревая модель) описывается уравнением

$$G_r = \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left\{ 4X_{pb}; 4 \frac{X_o}{s}; 2 \frac{X_{pg}}{s+1} \right\}, \quad (13)$$

где G_r — массовая скорость реакции в единице объема газовой среды, кг/(с·м³);

ε — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности, м²/с³;

k — кинетическая энергия турбулентности, м²/с²;

X_{pb} , X_o , X_{pg} — массовые концентрации соответственно продуктов горения, кислорода и продуктов газификации горючего материала.

Начальные и граничные условия подробно приведены в [9].

Уравнения (9) и (11) решаются методом контрольных объемов [10] по неявной конечно-разностной схеме на равномерной шахматной сетке.

Результаты численного эксперимента и их анализ

В работе [11] представлены результаты полномасштабных экспериментов по определению высоты нижней границы припотолочного газового слоя (высоты незадымляемой зоны) и его среднекомпонентной температуры в помещении размером $22,4 \times 11,9 \times 27$ м с вертикальным проемом высотой 0,2 м на уровне пола при свободном развитии пожара.

В поддоне размером 2×2 м, расположеннном в геометрическом центре пола, поджигали дизельное топливо, при горении которого достигалась максимальная тепловая мощность $Q_{\text{пож}} = 1,6$ МВт.

В случае применения полевой модели использовалась равномерная конечно-разностная сетка размером $23 \times 25 \times 55$ точек.

На рис. 2 представлены соответственно расчетные и экспериментальные [11] зависимости высоты нижней границы припотолочного газового слоя от времени с момента начала горения.

Положение нижней границы припотолочного слоя определялось из условия равенства подъема температуры $N = 30\%$ от максимального подъема температуры в вышеуказанном слое (правило N процентов [9]) и из условия равенства оптической плотности дыма $N = 2\%$ от максимальной оптической плотности дыма в слое.

Из рис. 2 видно, что формулы (1), (3) и (4) (кривые 3 и 2) существенно, особенно на начальной стадии пожара (до 120 с от начала горения), завышают скорость опускания нижней границы припотолочного слоя по сравнению с экспериментальными данными. Высота нижней границы слоя в этом случае занижена более чем в 2 раза. При этом в соответствии с уравнением (2) температуры газовой смеси по сечению колонки из-за больших расходов будут меньше, чем в эксперименте, что приведет к недооценке

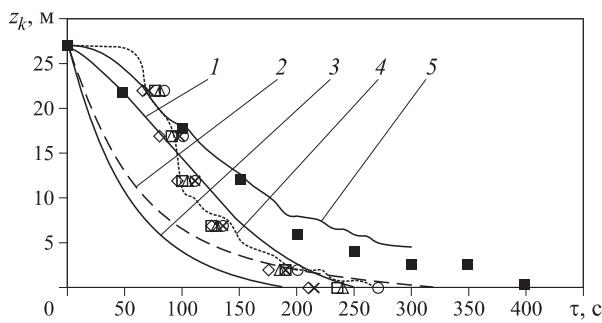


Рис. 2. Зависимости высоты нижней границы припотолочного слоя от времени: зонная модель: 1 — уравнение (5); 2 — формулы (3) и (4); 3 — формула (1); полевая модель: 4 — $N = 2\%$ по оптической плотности дыма; 5 — $N = 30\%$ по температуре; ■ — экспериментальные данные по температуре [9]; остальные символы — экспериментальные данные по оптической плотности дыма [9]

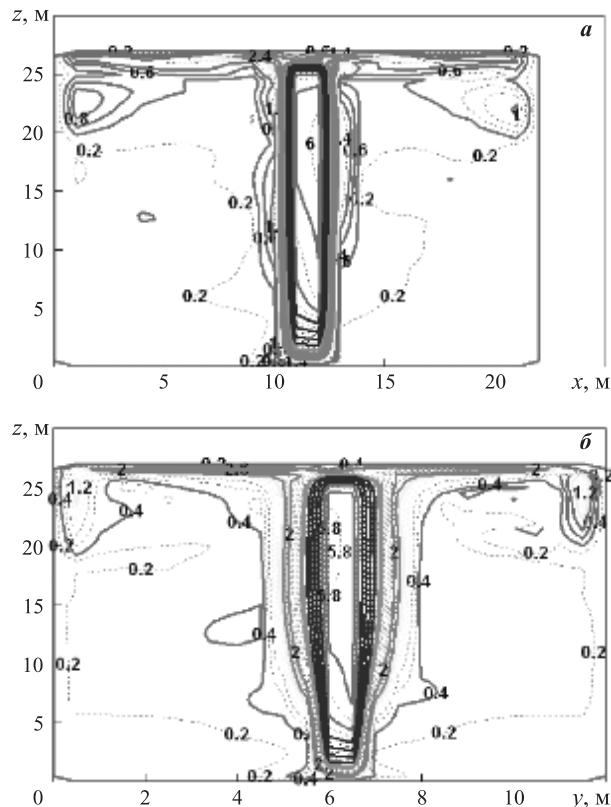


Рис. 3. Поля скоростей в продольном (а) и поперечном (б) сечениях атриума, проходящих через источник горения, через 300 с с момента начала пожара

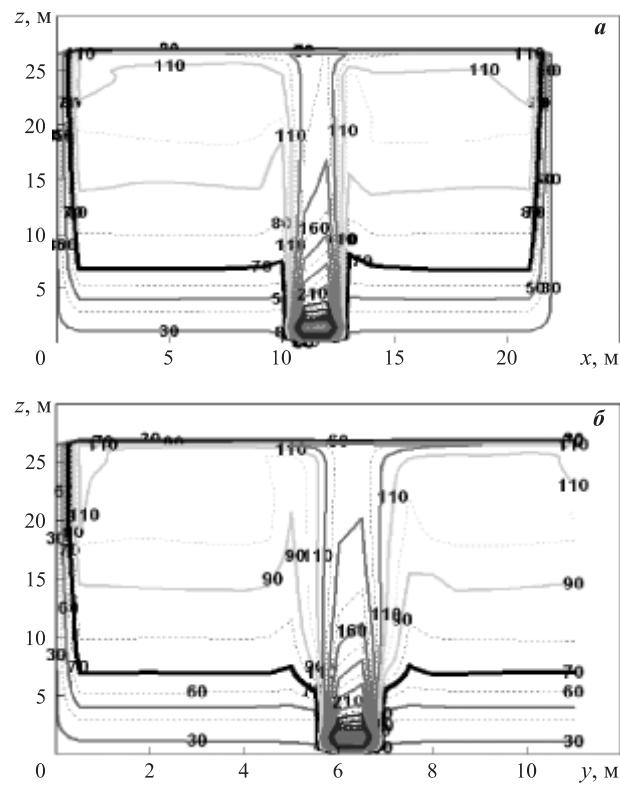


Рис. 4. Поля температур в продольном (а) и поперечном (б) сечениях атриума, проходящих через источник горения, через 300 с с момента начала пожара

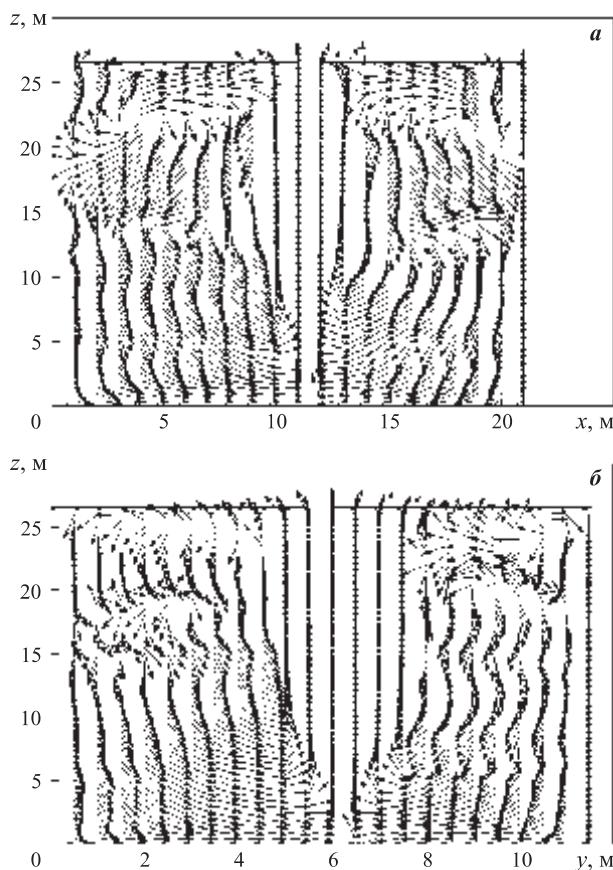


Рис. 5. Схемы течения в продольном (*а*) и поперечном (*б*) сечениях атриума, проходящих через источник горения, через 300 с с момента начала пожара

пожарной опасности, так как температура припотолочного газового слоя будет соответственно занижена.

Уравнение (5) с учетом определенной с использованием полевой модели высоты конической части колонки, а также формы конвективной колонки (аналогично работе [4]) качественно правильно отражает динамику опускания слоя на всех стадиях пожара. Как видно из рис. 2, результаты расчета с использованием уравнения (5) (см. рис. 2, кривая 1) совпадают с экспериментальными значениями с погрешностью, не превышающей 23 %.

Характерные поля скоростей (м/с), температур (°С) и схемы течений в продольном и поперечном

сечениях атриума, проходящих через источник горения, через 300 с с момента начала пожара показаны на рис. 3–5. Координаты *x*, *y* и *z* направлены вдоль длины, ширины и высоты помещения соответственно.

Из рис. 3 и 4 видно, что конвективная колонка имеет несимметричную форму (разный угол полураскрытия колонки) во взаимно перпендикулярных сечениях. Это объясняется особенностями термогазодинамической картины пожара, вызванными существенным различием длины и ширины атриума (в рассматриваемом примере длина больше ширины в 1,88 раза). При этом в продольном сечении колонки (вдоль длины атриума) угол полураскрытия приближался к нулевому значению по всей высоте атриума, а в поперечном сечении (вдоль ширины помещения) — существенно изменился по высоте.

В работе [4] конвективная колонка, образующаяся при горении горючего газа, была симметричной в течение всей продолжительности пожара. При этом отношение длины к ширине атриума составляло 1,25.

Выводы

При определении необходимого времени эвакуации людей из высоких помещений (машиных залов ГЭС, атриумов, пассажирских, складов и т. д.) необходимо учитывать форму конвективной колонки, образующейся над источником горения.

Использование приближения неограниченной свободно-конвективной струи для описания параметров конвективной колонки не отражает реальной термогазодинамической картины развития пожара и может привести к недостоверной оценке пожарной опасности высоких помещений.

Для дальнейшего развития зонных моделей необходимо провести дополнительные численные исследования с использованием полевой модели расчета динамики опасных факторов пожара и полномасштабные физические эксперименты в постановке задачи, существенно отличной от приведенных в литературе, с целью изучения влияния объемно-планировочных решений атриумов на форму конвективной колонки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приложение к Приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрирован в Министерстве РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 10.01.2010).
- Пузач, С. В.** Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в атриуме / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов // Инженерно-физический журнал. — 2007. — Т. 80, № 2. — С. 84–89.

3. **Пузач, С. В.** Модифицированная зонная модель расчета тепломассообмена при пожаре в атриуме / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 53–57.
4. **Пузач, С. В.** Расчет скорости опускания нижней границы припотолочного слоя при пожаре в атриуме / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов, Нгуен Тхань Хай // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 31–36.
5. **Кошмаров, Ю. А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю. А. Кошмаров. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000.
6. **Присадков, В. И.** Численные методы исследования пожарной опасности атриумов / В. И. Присадков, В. В. Лицкевич, А. В. Федоринов // Пожарная безопасность. — 2002. — № 2.
7. **Драйздел, Д.** Введение в динамику пожаров / Д. Драйздел. ; пер. с англ. — М. : Стройиздат, 1988.
8. **NFPA 92B.** Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. — 2005.
9. **Пузач, С. В.** Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С. В. Пузач. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005.
10. **Патанкар, С.** Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 152 с.
11. **Chow, W. K.** Natural Smoke Filling in Atrium with Liquid Pool Fires up to 1.6 MW / W. K. Chow, Y. Z. Li, E. Cui, R. Huo // Building and Environment. — 2001. — № 36. — Р. 121–127.

Материал поступил в редакцию 13 января 2010 г.

© Пузач С. В., Абакумов Е. С., 2010 г.

(e-mail: puzachsv@rambler.ru, aes7@rambler.ru).



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Представляет новую книгу

«ПОЖНАУКА»

Корольченко А. Я., Загорский Д. О.
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, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

**С. Е. Якуш**

д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, Россия

**Г. М. Махвиладзе**

профессор, руководитель Центра по исследованиям пожаров Университета центрального Ланкашира, г. Престон, Великобритания

УДК 532.525.2:614.841.2:614.841.12

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ КРИТЕРИЙ КЛАССИФИКАЦИИ АВАРИЙНЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Рассмотрен количественный критерий, позволяющий определить вероятный тип выброса (облако, струя, промежуточный) при аварийной разгерметизации резервуара с газом под давлением в зависимости от объема резервуара, размеров отверстия, условий хранения и свойств вещества. Получены расчетные формулы для критических диаметров, разделяющих различные типы выбросов. Для нестационарных выбросов получены оценки для массовой доли газа, сгорающего в режиме огненного шара. Приведены примеры использования количественного критерия.

Ключевые слова: разгерметизация, аварийные выбросы, горение, огненный шар.

Введение

При количественном анализе риска аварийных ситуаций в химической промышленности, при транспортировке и хранении пожаровзрывоопасных веществ, в качестве возможных последствий разгерметизации резервуаров со сжатыми и сжиженными газами, как правило, рассматривают квазистационарное струйное истечение либо мгновенный выброс всей массы вещества в атмосферу. При возгорании выбрасываемого газа в первом случае образуется горящая струя (факел), во втором же газ сгорает в режиме огненного шара (при немедленном зажигании) либо происходит взрыв топливовоздушного облака (при зажигании с задержкой, достаточной для смешения облака с воздухом).

К настоящему времени разработаны методики инженерного расчета перечисленных явлений, позволяющие определять зоны действия поражающих факторов [1–5]. Однако критерии реализации того или иного типа истечения в принятых методиках отсутствуют либо являются качественными. Так, при практическом применении инженерных формул для оценки последствий выбросов сжатых газов возникает вопрос о том, при каких размерах выходного отверстия выброс следует относить к мгновенному типу, а при каких — к струйному. Расследование произошедших аварий может привести к обратной задаче: по известным размерам отверстия в оболочке резервуара определить, какой вид горения реализовался в ходе аварии — факел или огненный шар.

В настоящей работе представлена модель, позволяющая дать количественную оценку размерам отверстия, при которых истечение может классифицироваться как мгновенное, непрерывное или промежуточное (ностационарно развивающаяся струя), и, кроме того, в последнем случае получить оценки характеристик сгорания выброса. Полученный критерий классификации выбросов конечной продолжительности применим для истечений газов при низком или высоком давлении с постоянным расходом, а также при разгерметизации резервуара высокого давления, имеющего фиксированный объем.

Критерий классификации газовых выбросов

Для получения количественного критерия классификации выбросов используем физическую модель [6–8], основанную на сопоставлении времени истечения и характерного времени турбулентного смешения выбрасываемого газа с атмосферным воздухом. Рассмотрим истечение заданной массы газа M_0 в атмосферу через круглое отверстие диаметром D . Если время истечения t_r значительно меньше времени смешения, то результатом выброса будет переобогащенное топливом облако, сгорающее при зажигании в режиме огненного шара. В другом предельном случае, когда время выброса значительно превосходит время смешения, в атмосфере образуется струя газа, сгорающая при зажигании в виде факела. С целью нахождения параметров, при которых реализуется тот или иной тип истечения,

конкретизируем выражения для времени истечения и характерных времен турбулентного смешения в двух типах выброса — в облаке газа при мгновенном направленном выбросе и в развивающейся нестационарной струе. При этом время смешения в каждом случае определяется как время, за которое относительная объемная концентрация газа достигает верхнего концентрационного предела воспламенения $X_{\text{ВКПВ}}$. Верхний концентрационный предел воспламенения используется при формулировке критерия потому, что основной интерес в данном случае представляет горение переобогащенного топливом облака в режиме огненного шара.

Время истечения газа

$$t_r = \frac{M_0}{G} = \frac{M_0}{\frac{\pi D^2}{4} C_d \rho_b U_b}, \quad (1)$$

где G — массовый расход газа в единицу времени; C_d — коэффициент истечения; ρ_b и U_b — плотность и скорость газа в выходном отверстии соответственно.

Время турбулентного смешения в облаке направленного мгновенного выброса t_C определяется по формуле

$$t_C = \frac{0,5D}{U_b} \left(\frac{\rho_a}{\rho_b} \right)^{-1/3} \left(\frac{m_a}{m_g} \right)^{4/3} X_{\text{ВКПВ}}^{-4/3}, \quad (2)$$

где a — индекс, обозначающий величины, относящиеся к окружающей атмосфере;

m_g — молекулярная масса истекающего газа.

Вывод формулы (2) на основе интегральной модели и определение констант из экспериментальных данных подробно рассмотрены в [6, 7].

Время смешения в *стартующей турбулентной струе* t_J вычисляется по формуле

$$t_J = \frac{3,73D}{U_b} \left(\frac{\rho_a}{\rho_b} \right)^{-1/2} \left(\frac{m_a}{m_g} \right)^2 X_{\text{ВКПВ}}^{-2}, \quad (3)$$

где числовой множитель вычислен в [6, 7] из условия, что передний фронт за время t_J достигает точки, в которой осевая относительная объемная концентрация газа равна $X_{\text{ВКПВ}}$.

Из формул (2) и (3) следует, что

$$\frac{t_C}{t_J} = 0,134 \left(\frac{\rho_a}{\rho_b} \right)^{1/6} \left(\frac{m_g}{m_a} \right)^{2/3} X_{\text{ВКПВ}}^{2/3} = 1,$$

где для типичных углеводородов $X_{\text{ВКПВ}} = 0,05 \div 0,20$, т. е. разбавление газа воздухом при мгновенном выбросе происходит значительно интенсивнее.

Времена смешения по (2) и (3) пропорциональны D , тогда как время истечения (1) убывает с ростом диаметра как D^{-2} (рис. 1). Точки пересечения

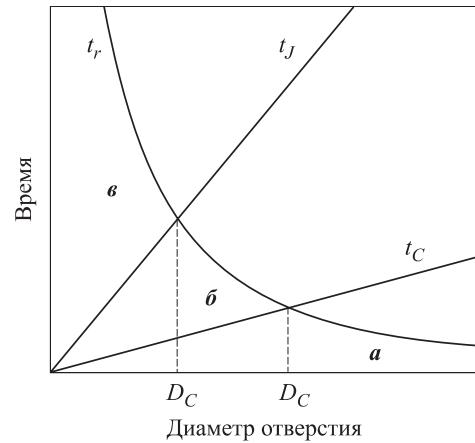


Рис. 1. Схема классификации выбросов конечной продолжительности с разделением их критическими диаметрами D_C и D_J на выбросы с образованием облака (a), струи (b) и промежуточные истечения (6)

$t_r = t_C$ и $t_r = t_J$ дают два критических диаметра — D_C и D_J , разделяющих выбросы различного типа. Критерий классификации выбросов формулируется следующим образом [6, 7]:

- $t_r \leq t_C$ при $D \geq D_C$ — “мгновенный” выброс с образованием переобогащенного топливом облака с концентрацией топлива выше $X_{\text{ВКПВ}}$;
- $t_r \geq t_J$ при $D \leq D_J$ — “непрерывное” истечение с образованием квазистационарной топливной струи;
- $t_C \leq t_r \leq t_J$ при $D_C \geq D \geq D_J$ — промежуточный случай, развивающееся топливовоздушное облако, в котором за время истечения существенная часть газа разбавляется до концентраций ниже $X_{\text{ВКПВ}}$.

Конкретный вид формул для критических диаметров D_C и D_J зависит от условий истечения, при этом, как следует из (1)–(3), все характерные времена пропорциональны U_b^{-1} , поэтому скорость газа не входит в окончательные выражения.

При низком давлении в резервуаре истечение можно считать изотермическим, при этом плотности газа в резервуаре ρ_0 и в выходном отверстии ρ_b можно принять равными плотности газа при наружных температуре и давлении: $\rho_0 \approx \rho_b \approx \rho_{g,a}$. В этом случае из (1)–(3) получаем:

$$\begin{aligned} D_{C,LP}^3 &= 3 \left(\frac{m_g}{m_a} \right)^{4/3} X_{\text{ВКПВ}} V_0; \\ D_{J,LP}^3 &= 0,4 \left(\frac{m_g}{m_a} \right)^{3/2} X_{\text{ВКПВ}}^2 V_0, \end{aligned} \quad (4)$$

где V_0 — объем выбрасываемого газа при условиях хранения; $V_0 = M_0 / \rho_0$; константы вычислены при $C_d = 0,85$; индекс “LP” означает “низкое давление”.

При высоком давлении в резервуаре ($P_0 > P_*$) происходит запирание потока, при этом давление и плотность газа в выходном сечении описываются формулами [9]:

$$P_b = P_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}; \quad \rho_b = \rho_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}};$$

$$P_* = P_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}},$$

где γ — отношение удельных теплоемкостей газа.

Дорасширение газа учтем введением эквивалентного диаметра $D_{eq} = D(P_b/P_a)^{1/2}$ и плотности $\rho_{eq} = \rho(P_a/P_b)$, после подстановки которых вместо истинных величин получим (индекс "HP" означает "высокое давление"):

$$\begin{aligned} D_{C,HP}^3 &= D_{C,LP}^3 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma + 8}{6(\gamma - 1)}} \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{1/2}; \\ D_{J,HP}^3 &= D_{J,LP}^3 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{3}{2(\gamma - 1)}} \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{1/2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Важно отметить, что входящие в (5) величины $D_{C,LP}$ и $D_{J,LP}$ следует вычислять по формулам (4), при этом под V_0 понимается объем выброшенного газа при условиях хранения, т. е. при высоком давлении P_0 .

Формулы (5) получены в предположении о постоянстве расхода газа в течение всего времени истечения. Реализация такого случая возможна, например, если давление в резервуаре поддерживается за счет подачи газа из каких-либо сторонних источников. Если же происходит разгерметизация и опорожнение резервуара конечного объема, то давление и расход падают со временем. Чтобы учесть переменность расхода, заменим переменный расход его средним за время истечения значением $G_{av} = \eta G_0$, где G_0 — начальный расход; η — коэффициент пропорциональности, зависящий от начального давления, как показано в [7]; с приемлемой точностью можно принять $\eta = 0,6(P_a/P_0)^{1/6}$. В результате приходим к выражениям для критических диаметров при истечении из резервуаров *конечного объема* (индекс "FV"):

$$\begin{aligned} D_{C,FV}^3 &= 2,15 D_{C,LP}^3 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma + 8}{6(\gamma - 1)}} \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{1/4}; \\ D_{J,FV}^3 &= 2,15 D_{J,LP}^3 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{3}{2(\gamma - 1)}} \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{1/4}. \end{aligned} \quad (6)$$

Формулы (4)–(6) можно представить в безразмерном виде, значительно облегчающем их практическое использование. С этой целью введем безраз-

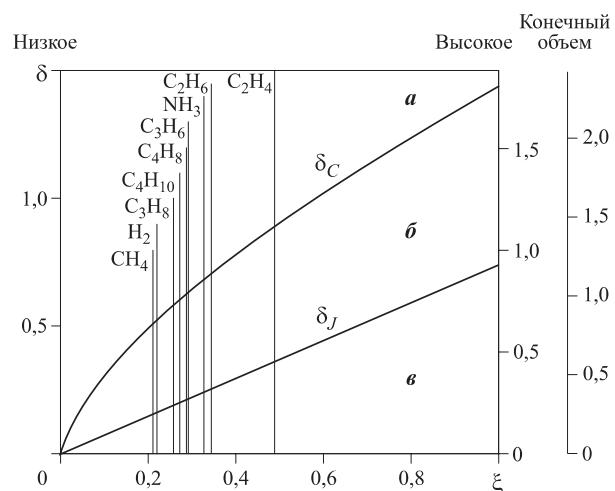


Рис. 2. Критерий классификации выбросов конечной продолжительности на плоскости параметров $\xi - \delta$. Границные линии $\delta_C(\xi)$ и $\delta_J(\xi)$ разделяют выбросы с образованием облака (a), струи (b) и промежуточные истечения (c). Вертикальными линиями показаны значения параметра ξ для веществ, перечисленных в таблице

мерный диаметр отверстия δ и параметр свойств вещества ξ :

$$\delta = \frac{D}{V_0^{1/3}} \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^n; \quad \xi = \left(\frac{m_g}{m_a} \right)^{1/2} X_{BKPB}^{2/3}, \quad (7)$$

где $n = 0$ — для выбросов низкого давления;

$n = 1/6$ — для выбросов высокого давления;

$n = 1/12$ — для истечений из резервуаров конечного объема.

В переменных (7) границы между различными типами выбросов описываются простыми соотношениями:

$$\delta_C = \lambda_C \xi^{2/3}; \quad \delta_J = \lambda_J \xi. \quad (8)$$

Приведем значения коэффициентов формул (8), вычисленные при $\gamma = 1,4$, для выбросов из резервуаров: низкого давления — $\lambda_C = 1,44$, $\lambda_J = 0,74$; высокого давления — $\lambda_C = 1,83$, $\lambda_J = 0,93$; конечного объема — $\lambda_C = 2,36$, $\lambda_J = 1,20$. Границные кривые (8) представлены на рис. 2. Значения критических диаметров для ряда пожароопасных газов приведены в таблице [7].

Горение газовых выбросов

Если выброс горючего газа сопровождается его зажиганием, то возникает задача оценки зон теплового поражения. В то время как в предельных случаях непрерывного и мгновенного истечения можно применять существующие формулы для факельного горения и огненного шара соответственно [1–5], для оценки истечений, попадающих согласно предложенной выше классификации в категорию

Критические диаметры для некоторых пожароопасных веществ [7]

| Вещество | ξ | Истечение при низком давлении | | Истечение при высоком давлении | | Истечение из резервуара конечного объема | |
|--|-------|-------------------------------|------------|--------------------------------|------------|--|------------|
| | | δ_J | δ_C | δ_J | δ_C | δ_J | δ_C |
| Водород H ₂ | 0,219 | 0,162 | 0,522 | 0,204 | 0,664 | 0,263 | 0,857 |
| Метан CH ₄ | 0,210 | 0,155 | 0,509 | 0,195 | 0,647 | 0,252 | 0,834 |
| Этан C ₂ H ₆ | 0,287 | 0,212 | 0,627 | 0,267 | 0,796 | 0,344 | 1,030 |
| Пропан C ₃ H ₈ | 0,257 | 0,190 | 0,582 | 0,239 | 0,739 | 0,308 | 0,953 |
| Бутан C ₄ H ₁₀ | 0,271 | 0,201 | 0,603 | 0,252 | 0,767 | 0,325 | 0,989 |
| Бутен-1 C ₄ H ₈ | 0,286 | 0,212 | 0,625 | 0,266 | 0,794 | 0,343 | 1,020 |
| Пропилен C ₃ H ₆ | 0,289 | 0,214 | 0,629 | 0,269 | 0,800 | 0,347 | 1,030 |
| Аммиак NH ₃ | 0,327 | 0,242 | 0,684 | 0,304 | 0,869 | 0,392 | 1,120 |
| Этилен C ₂ H ₄ | 0,487 | 0,360 | 0,880 | 0,453 | 1,120 | 0,585 | 1,440 |

промежуточных, инженерные формулы отсутствуют. В этом случае для оценки опасности можно воспользоваться подходом, предложенным в [6, 7]. Считается, что в результате зажигания возникает огненный шар, однако масса топлива, вовлеченного в горение, уменьшается с ростом времени задержки зажигания t_i из-за разбавления воздухом части топлива, выброшенной в атмосферу до момента зажигания, на величину ΔM . Коэффициент участия топлива в горении огненного шара

$$\chi = \frac{M_0 - \Delta M}{M_0}$$

получен в [7] в безразмерных переменных как функция параметра вещества ξ , времени задержки зажигания $\tau = t_i / t_r$ (рассматривается только случай $t_i \leq t_r$) и безразмерного диаметра отверстия δ . Показано, что

$$\chi = 1 - \sigma \left(\frac{\xi \tau}{\delta} \right)^{3/2}, \quad (9)$$

где σ — коэффициент, равный 0,42 для выбросов при низком давлении, 0,59 — для выбросов при высоком давлении и, наконец, 0,87 — для истечений из резервуаров конечного объема.

Как видно, коэффициент участия топлива падает с уменьшением диаметра отверстия δ вследствие более сильного разбавления газа. Нижняя граница для коэффициента участия может быть получена подстановкой минимального диаметра, соответствующего границе промежуточных и непрерывных истечений: при $\delta = \delta_J$ для всех типов истечений получаем $\chi(\delta_J) = 1 - 0,67\tau^{3/2}$, откуда следует, что минимальный коэффициент участия топлива соответствует зажиганию в момент окончания истечения ($\tau = 1$): $\chi_{\min} = 0,33$. Полученные результаты дают нижнюю границу для массы топлива, вовлеченного в диффузионное горение в режиме огненного шара, таким образом $M_{FB} = (0,33 \div 1) M_0$.

Примеры использования количественного критерия

Чтобы продемонстрировать применение данного критерия для анализа конкретных аварийных ситуаций, рассмотрим три различных случая истечения, соответствующие низкому и высокому давлению хранения, а также истечениям из резервуара конечного объема. В качестве горючего принимается природный газ (метан).

Примером объекта, на котором возможны выбросы газа при низком перепаде давлений, может служить газгольдер, широко применяемый в мире для хранения бытового природного газа. Газгольдер состоит из нескольких цилиндрических телескопических секций, которые могут перемещаться в вертикальном направлении для изменения объема газгольдера в соответствии с текущим объемом находящегося в нем газа. За счет веса конструкции газгольдера внутри него поддерживается небольшое избыточное давление, составляющее несколько десятков миллибар. Газгольдеры такого типа хорошо зарекомендовали себя с точки зрения пожаробезопасности. Однако в 1993 г. газгольдер с природным газом стал объектом террористической атаки в г. Уоррингтон (Warrington, Великобритания), в связи с чем возник интерес к оценке последствий разрушения его оболочки.

Применим рассматриваемый критерий к оценке последствий разрушения крыши верхней секции газгольдера. При таком разрушении секции газгольдера телескопически “складываются”, так что весь хранящийся в нем газ выбрасывается в атмосферу. В этом случае за объем газа при начальных условиях V_0 можно принять полный начальный объем газгольдера.

Безразмерные критические диаметры отверстия, разделяющие выбросы с образованием струи, облака газа и промежуточные истечения, в случае

истечения метана при низком давлении хранения составляют: $\delta_J = 0,155$ и $\delta_C = 0,509$ (см. таблицу). Для большей конкретности проведем дальнейшие оценки для типичного газгольдера диаметром $D_0 = 25$ м и высотой $H_0 = 20$ м (полный начальный объем $V_0 = 9800$ м³, масса газа $M_0 = 6525$ кг). Критический размер пробоины, отвечающий границе между струйными и промежуточными выбросами, составляет $D_J = \delta_J V_0^{1/3} = 3,3$ м, что дает общую площадь пробоины 8,64 м² (1,75 % площади крыши). Диаметр отверстия, соответствующий переходу от промежуточных истечений к выбросам компактного облака, $D_C = \delta_C V_0^{1/3} = 10,9$ м, в этом случае площадь повреждения равна 93 м² (около 20 % общей площади крыши). Минимальная масса топлива, которая может участвовать в горении огненного шара, может быть оценена исходя из минимального коэффициента участия $\chi_{\min} = 0,33$, найденного из (9): $M_{FB}^{\min} = \chi_{\min} M_0 \approx 2000$ кг. Соответственно, максимальный диаметр огненного шара и его время выгорания согласно эмпирическим формулам [10] (см. также [5])

$$D_{FB} = 5,33 M_0^{0,327}; \quad t_{FB} = 0,92 M_0^{0,303} \quad (10)$$

оцениваются как $D_{FB} = 64 \div 94$ м, $t_{FB} = 9,2 \div 13,2$ с. Эти данные согласуются с характеристиками разрушения газгольдера и параметрами огненного шара, зафиксированными камерами видеонаблюдения в упоминавшемся инциденте 1993 г.

В качестве второго примера рассмотрим истечение сжатого метана при постоянном *высоком* давлении в резервуаре. Для конкретности принимаем внутреннее давление равным 50 бар, а диаметр отверстия $D = 1$ м. В данном случае цель состоит в оценке времен истечения, соответствующих различным режимам истечения. Массовый расход газа через выходное отверстие может быть получен на основе стандартных соотношений с учетом запирания потока [9]:

$$G = C_d \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \left(\frac{\gamma R^0 T_0}{m_g} \right)^{1/2} \rho_0.$$

Полная выброшенная масса газа $M_0 = G t_r$, а его объем при начальных условиях $V_0 = M_0 / \rho_0$. Приводя диаметр D каждому из критических диаметров D_C и D_J и разрешая соответствующие уравнения $D_{C,J} = \delta_{C,J} V_0^{1/3} (P_a/P_0)^{1/6}$ (см. (7)), найдем критические времена истечения, соответствующие границам между различными режимами выброса:

$$t_r^{C,J} = \frac{4D}{\pi C_d} \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{1/2} \left(\frac{m_g}{\gamma R^0 T_0} \right)^{1/2} \delta_{C,J}^{-3}.$$

Подставляя наружную температуру $T_0 = 293$ К и критические безразмерные диаметры отверстия

для метана (при высоком внутреннем давлении $\delta_J = 0,195$ и $\delta_C = 0,647$ согласно таблице), получим размерные значения критических времен $t_r^C \approx \approx 0,02(P_0/P_a)^{1/2} D$, $t_r^J \approx 0,5(P_0/P_a)^{1/2} D$ (где D — в метрах, t_r — в секундах). Для указанных выше значений диаметра и внутреннего давления получим $t_r^C \approx 0,14$ с и $t_r^J \approx 3,5$ с. Эти времена весьма малы, следовательно, если после открытия в резервуаре поддерживается высокое давление, в течение нескольких первых секунд устанавливается струйное истечение газа, и струйный выброс может рассматриваться в качестве наиболее вероятного исхода разгерметизации. Только при истечениях, для которых менее секунды, можно ожидать образования в атмосфере переобогащенного топливного облака.

Наконец, оценим возможные последствия истечения из резервуара *конечного объема*. Рассмотрим сосуд объемом 200 м³ со сжатым природным газом при двух начальных давлениях 10 и 100 бар, при этом масса газа составит соответственно 1350 и 13500 кг. Безразмерные критические диаметры при истечении из резервуара конечного объема при высоком начальном давлении для метана $\delta_J = 0,252$ и $\delta_C = 0,834$ (см. таблицу), что приводит к следующим размерным величинам: при меньшем начальном давлении $D_J = \delta_J V_0^{1/3} (P_a/P_0)^{1/12} \approx 1,17$ м, $D_C = \delta_C V_0^{1/3} (P_a/P_0)^{1/12} \approx 3,9$ м, тогда как при большем — $D_J = 1,0$ м, $D_C = 3,2$ м. Сопоставив полученные данные, можно увидеть, что критические диаметры довольно слабо зависят от давления хранения. Кроме того, очевидно, что истинно “мгновенным” истечение можно считать только в том случае, если размер отверстия сравним с характерным линейным размером сосуда $V_0^{1/3} = 5,8$ м. Приведем оценки параметров огненных шаров (см. формулу (10)), которые могут возникнуть при разгерметизации резервуара: при меньшем внутреннем давлении $M_{FB} = 420 \div 1350$ кг, $D_{FB} = 38 \div 56$ м, $t_{FB} = 5,7 \div 8,0$ с; при большем — $M_{FB} = 4200 \div 13500$ кг, $D_{FB} = 82 \div 120$ м, $t_{FB} = 11 \div 16$ с.

Заключение

Проведена количественная классификация выбросов горючих газов из емкостей низкого и высокого давления. Критерий, определяющий тип выброса конечной продолжительности, представлен в виде связи двух безразмерных величин — диаметра отверстия и параметра, описывающего физико-химические свойства вещества. Получены формулы для безразмерных критических диаметров, разделяющих квазинепрерывные (струйные), мгновенные (приводящие к образованию облака) и промежуточные истечения. Критерий позволяет единным образом описывать выбросы при низких и высоких давлениях в резервуаре, а также для анализа истечений из резервуаров конечного объема.

На основе сравнения характерных времен истечения и горения показано, что в зависимости от времени задержки воспламенения сгорание выбрасываемого газа может происходить как в режиме факела, так и в режиме огненного шара. В последнем случае приведены оценки влияния условий истечения и времени задержки воспламенения на массу топлива, которая может участвовать в горении в режиме огненного шара.

Полученные результаты позволяют проанализировать характер истечения при разгерметизации емкостей со сжатым газом и определить наиболее вероятную конфигурацию пламени при возгорании выброса. Предложенный подход может использоваться при оценке опасности химических производств, построении карт риска, экспертных оценках последствий аварий на трубопроводах, в хранилищах сжатых газов, расследовании реальных аварий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **AIChE/CCPS.** Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Assessment. — New York : Amer. Inst. Chem. Engineers, 1989.
2. **AIChE/CCPS.** Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. — New York : Amer. Inst. Chem. Engineers, 1995.
3. **TNO.** Methods for the Calculation of Physical Effects Resulting from Releases of Hazardous Materials (Liquids and Gases) / TNO "Yellow Book". 2nd Ed. — Voorburg, TNO, 1992.
4. **ГОСТ Р 12.3.047–98.** ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 2000–01–01. — М. : Изд-во стандартов, 1998.
5. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах // Пожарная безопасность. — 2009. — № 3.
6. **Makhviladze, G. M.** Burning regimes for the finite-duration releases of fuel gases / G. M. Makhviladze, J. P. Roberts, S. E. Yakush // Twenty Sixth Int. Symp. on Combustion. — The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, USA. — 1996. — Vol. 1. — P. 1549–1555.
7. **Махвиладзе, Г. М.** Образование и горение газовых облаков при аварийных выбросах в атмосферу / Г. М. Махвиладзе, Дж. Р. Робертс, С. Е. Якуш // Физика горения и взрыва. — 1997. — Т. 33, № 2. — С. 23–38.
8. **Makhviladze, G. M.** Large-scale unconfined fires and explosions. Invited Paper for a special memorial session devoted to the September 11th fire / G. M. Makhviladze, S. E. Yakush // 29th Symposium (Int.) on Combustion. — Proceedings of the Combustion Institute. — 2003. — Vol. 29. — P. 195–210.
9. **Лойцянский, Л. Г.** Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. — М. : Наука, 1987. — 840 с.
10. **Moorhouse, J.** Thermal radiation hazards from large pool fires and fireballs : a literature review / J. Moorhouse, M. J. Pritchard // IChemE Symp. Series. — 1982. — No. 71. — P. 397–428.

Материал поступил в редакцию 24 ноября 2009 г.

*© Якуш С. Е., Махвиладзе Г. М., 2010 г.
(e-mail: yakush@ipmnet.ru, gmakhviladze@uclan.ac.uk).*

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,
тел./факс:
(495) 445-42-34





В. А. Горев

д-р физ.-мат. наук, профессор Московского государственного строительного университета, г. Москва, Россия



Е. Ю. Салымова

студентка V курса Московского государственного строительного университета, г. Москва, Россия

УДК 614.841.343

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВНУТРЕННИХ ВЗРЫВАХ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Рассматривается новый метод обеспечения взрывоустойчивости промышленных зданий при внутренних взрывах — путем использования в качестве ограждающих и легкосбрасываемых конструкций сэндвич-панелей. Показаны достоинства этого метода при проектировании и реконструкции зданий.

Ключевые слова: взрывоопасное помещение, легкосбрасываемые конструкции, внутренний взрыв, ограждающие конструкции, избыточное давление.

В соответствии с СП 12.13130.2009 [1] к взрывоопасным помещениям относятся такие, в объеме которых может выделиться столько горючего вещества в газообразном, парообразном или пылевом состоянии, что при его горении уровень избыточного давления ΔP превысит 5 кПа. В пересчете на стехиометрический состав при полной загазованности максимальное давление взрыва составляет $\Delta P_V \approx 750$ кПа для большинства углеводородных горючих. Используя такие плохо контролируемые параметры, как коэффициент участия горючего во взрыве и негерметичность помещения, удается снизить уровень давления взрыва примерно в 5–6 раз [1]. Это значит, что при загазованности выше 3,5–4,0 % в пересчете на стехиометрию — 100 помещения будут взрывоопасными. Однако если не принимать во внимание негерметичность помещения и коэффициент участия горючего во взрыве, то предельный уровень загазованности снижается до 0,5–0,6 %.

Здания со взрывоопасными помещениями должны быть обеспечены легкосбрасываемыми конструкциями (ЛСК). Площадь проемов, перекрываемых ЛСК, согласно СНиП 31-03-2001 [2] определяется расчетом или назначается из условия $0,05V_0$ — для категории А и $0,03V_0$ — для категории Б (где V_0 — объем помещения, м³). В [2] предъявляются также требования к конструкции ЛСК, в частности к остеклению.

Остекление относится к безынерционным ЛСК, так как время его разрушения и отлета мало по срав-

нению со временем протекания взрыва для помещений объемом более 10 м³. Неразрушающие ЛСК, такие как облегченные панели, освобождают площадь для истечения газов из помещения, где происходит взрыв, по мере их перемещения под действием избыточного давления взрыва. Время полного освобождения площади истечения для таких ЛСК в значительной мере зависит от их массы и является мерой их эффективности. Если время открытия площади проема, перекрываемого ЛСК, меньше времени достижения допускаемого давления взрыва ΔP_d , то ЛСК являются эффективными и их теоретический коэффициент вскрытия равен 1.

Примем боковую площадь, занимаемую перемещающимися ЛСК, S_d , а фактическую площадь перекрываемого проема S_ϕ . Тогда коэффициент вскрытия данной ЛСК $K_{вскр}$ определяется как:

$$K_{вскр} = S_d / S_\phi.$$

При $K_{вскр} > 1$ его значение принимают равным 1, тогда площадь истечения ограничивается величиной S_ϕ . При $K_{вскр} < 1$ площадь проемов, перекрываемых ЛСК, увеличивается в $1/K_{вскр}$ раз по сравнению с требуемой площадью открытых проемов.

В последнее время в качестве ограждающих конструкций для промышленных зданий с успехом применяются трехслойные теплоизолирующие сэндвич-панели, и особенно перспективно их использование в условиях холодного климата.

Цель настоящего исследования — показать эффективность сэндвич-панелей как ЛСК, которые,

отрываясь от места крепления, открывают проемы для истечения газов из помещения при внутреннем взрыве.

Отличие сэндвич-панелей, используемых в качестве ЛСК, от обычных ограждающих заключается в способе их крепления — саморезами меньшего размера или с использованием меньшего их количества. Однако специальное крепление нисколько не ухудшает эксплуатационных характеристик стены здания (т. е. стена по-прежнему выдерживает ветровые и сугревые нагрузки).

За счет своей небольшой массы, высокой частоты колебания и коэффициента динамичности, равного 1, нагрузку на сэндвич-панели при взрыве можно рассматривать как квазистатическую. Это существенно облегчает расчет этих панелей.

Из рис. 1 видно, что, если облицовочная панель будет терять устойчивость при давлении выше 3 кПа, ее будет легче защитить с помощью ЛСК, чем панель, которая будет терять устойчивость при давлении менее 3 кПа (так как в этом случае придется увеличивать площадь ЛСК или добиваться того, чтобы ЛСК-панели вскрывались прежде, чем облицовочные панели потеряют несущую способность).

Проведем анализ вскрытия ЛСК-панелей при внутреннем взрыве в помещении, ограждающими конструкциями в котором являются те же панели, только лучше закрепленные или имеющие меньшую длину.

Известно, что допускаемое давление взрыва определяется несущей способностью ограждающих панелей. Задача об изменении давления в помещении при внутреннем взрыве в нем решается в следующей постановке:

1) давление во время взрыва в помещении зависит только от времени и одинаково по объему как при закрытых, так и при открывающихся проемах;

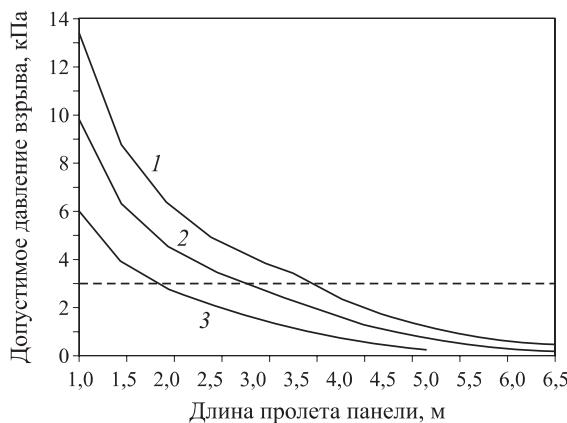


Рис. 1. Зависимость длины пролета панели от допустимого давления взрыва, определяемого по несущей способности панелей толщиной: 1 — 200 мм; 2 — 150 мм; 3 — 100 мм; пунктир — предел защиты

2) истечение газа из помещения носит квазистационарный характер и определяется давлением в помещении (волновые эффекты отсутствуют);

3) перемещение ЛСК определяется их инерционными свойствами и давлением внутри помещения;

4) перемещение ЛСК начинается при достижении давлением значения давления вскрытия $\Delta P_{вскр}$ (зависит от характера крепления);

5) на начальной стадии развития взрыва, сразу после вскрытия ЛСК, происходит истечение холодных газов, а по мере развития взрыва истечение холодной исходной смеси сменяется на истечение горячих продуктов горения.

В герметичном объеме до вскрытия ЛСК давление изменяется в зависимости от доли выгоревшего вещества λ :

$$(P_{(t)} - P_0)/(P_{\max} - P_0) = \lambda = M_{(t)}/M_0 ; \quad (1)$$

$$dM_{(t)}/dt = \rho_{(t)} U_e A_{(t)}. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) следует:

$$d\Delta P/dt = \Delta P_{\max} (\rho_{(t)} U_e A_{(t)})/M_0 . \quad (3)$$

Здесь $P_{(t)}$ — избыточное давление взрыва в момент времени t ;

P_0 — начальное давление;

P_{\max} — максимальное избыточное давление взрыва;

$M_{(t)}$ — масса сгоревшего вещества за время t ;

M_0 — общая масса горючей смеси при полной загазованности; $M_0 = \rho_0 V_0$;

ρ_0 — плотность горючей смеси;

V_0 — объем горючей смеси;

$\rho_{(t)}$ — плотность исходной смеси во время взрыва;

$$\rho_{(t)} = \rho_0 (P_{(t)}/P_0)^{1/\gamma};$$

U_e — скорость горения при взрыве; $U_e = \alpha U_n$;

α — показатель интенсификации горения при взрыве;

U_n — нормальная скорость горения;

$A_{(t)}$ — площадь поверхности пламени;

ΔP — уровень избыточного давления;

ΔP_{\max} — максимальное избыточное давление при взрыве в герметичном объеме.

Если предположить, что на начальной стадии горения (взрыва) очаг горения имеет форму сферы или ее части (β), то

$$A_{(t)} = 4\pi\beta U_e^2 t^2 \sigma^2 \quad (4)$$

и интегрирование (3) с учетом (4) до момента начала вскрытия t_b выражается уравнением

$$t_b = (\Delta P_{вскр} / \Delta P_{\max})^{1/3} (V_0^{1/3} K_0^{1/3}) / (U_e \sigma^{2/3}) . \quad (5)$$

Здесь σ — степень расширения при горении;

$$\sigma = \rho_{(t)}/\rho_2;$$

$\sigma = \sigma_0$ — при взрыве на начальной стадии и вообще для избыточных давлений ($\Delta P = 20$ кПа);
 ρ_2 — плотность продуктов горения;
 $\Delta P_{вскр}$ — давление начала вскрытия;
 $K_0 = 3/(4\pi\beta)$;
 $\beta = 1$ — для сферического очага; $\beta = 1/2$ — для полусферического и т. д.

Если взрывное давление инициируется в заранее разгерметизированном объеме, то изменение давления будет контролироваться двумя процессами:

- горением (давление повышается);
- истечением газов через открытые проемы (давление снижается).

Рассмотрим задачу в более реальной обстановке.

В начальный момент взрыва все ограждающие конструкции целые. По мере развития взрыва ограждающие легкосбрасываемые конструкции начинают вскрываться, т. е. начинают открываться проемы, которые они закрывали.

Вскрытие, т. е. увеличение площади, через которую истекают газы из помещения, происходит постепенно, в зависимости от свойств ЛСК, величины давления вскрытия $\Delta P_{вскр}$ и интенсивности взрывного горения.

На первом этапе будем рассматривать однотипные ЛСК, которые характеризуются: давлением вскрытия $\Delta P_{вскр}$ (кПа), площадью перекрываемого проема ab (m^2), массой панели ЛСК M (кг).

Характер изменения давления при взрыве в замкнутых объемах с различной степенью герметичности представлен на рис. 2.

Из анализа рис. 2 видно, что максимальное давление взрыва $\Delta P_V \approx 800$ кПа, а допустимое давление, т. е. давление, которое не должно быть превышено во время взрыва, $\Delta P_d \approx 5$ кПа. Это значит, что защита зданий с помощью ЛСК может достигнуть цели только в том случае, если вскрытие ЛСК будет начинаться рано ($\Delta P_{вскр} < \Delta P_d$) и происходит быстро ($\Delta P_1 < \Delta P_d$), а площадь вскрытых проемов будет достаточной, чтобы выполнялось условие: $\Delta P_2 < \Delta P_d$ ($\Delta P'_2$ и $\Delta P''_2$, но не ΔP^*_2).

При допускаемом давлении $\Delta P_d \leq 60$ кПа максимумы давления во время взрыва в замкнутом объеме с изменяющейся площадью разгерметизации S_X описываются выражением

$$U_r(\sigma - 1)A - S_X \sqrt{2\Delta P/\rho_1} K_{i,u}, \quad (6)$$

где U_r — скорость горения, м/с;

A — площадь поверхности пламени, m^2 ;

$K_{i,u}$ — коэффициент истечения; $i = 1$ — для первого пика, $i = 2$ — для второго пика.

Выражение (6) описывает условие реализации максимума давления в зависимости от изменяющейся площади истечения и скорости взрывного

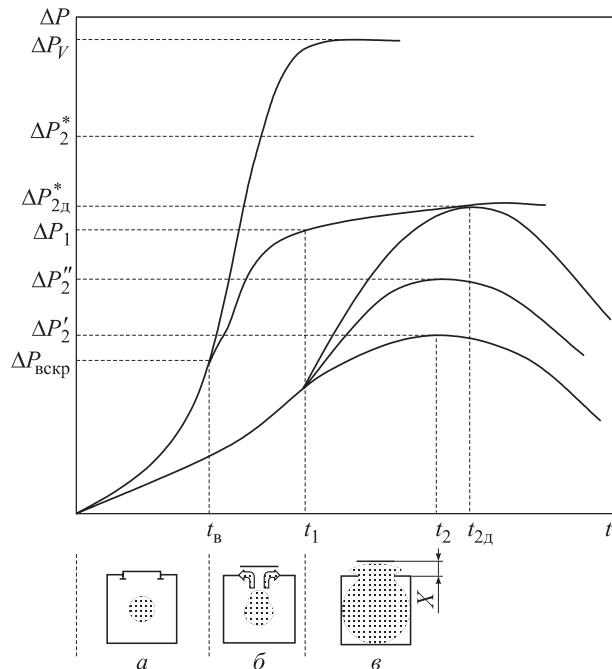


Рис. 2. Изменение давления при взрыве в замкнутых объемах с различной степенью герметичности: ΔP_V — максимальное давление взрыва в полностью загазованном и герметичном объеме, равное ≈ 800 кПа; ΔP_1 — максимальное давление во время вскрытия ЛСК (первый пик); ΔP_2 — максимальное давление взрыва в разгерметизированном объеме, достижаемое при максимальной площади пламени; ΔP_{2d} — допустимое давление взрыва, при котором несущие конструкции теряют устойчивость, обычно равное ≈ 5 кПа

сгорания. Площадь истечения S_X определяется из уравнений:

$$\begin{cases} S_X = X \cdot 2(a + b) & \text{при } X \leq ab/[2(a + b)]; \\ S_X = ab & \text{при } X \geq ab/[2(a + b)], \end{cases} \quad (7)$$

где X — путь, пройденный плоской ЛСК при поступательном движении ЛСК вдоль линии, нормальной к ее поверхности.

При квадратной форме вскрывающегося проема ($a = b$) увеличение площади истечения происходит до $X = a/4$.

Уравнение перемещения ЛСК под действием сил давления, действующих со стороны движущихся газов, имеет вид:

$$M(d^2X/dt^2) = \Delta Pab. \quad (8)$$

Уравнение (8) тем точнее описывает перемещение ЛСК, чем меньше ее скорость по сравнению со скоростью истекающего газа. Для материалов, применяемых в строительстве, это условие выполняется.

В окрестности второго пика (см. рис. 2) площадь поверхности пламени максимальна, а условие максимума давления дает возможность определить необходимую площадь открытых проемов $S_{o,u}$, при

которой обеспечивается сохранность защищаемых конструкций ($\Delta P < \Delta P_d$):

$$S_{o,h} = [U_r(\sigma - 1)A_{max}\sqrt{\rho_1}] / [\sqrt{2\Delta P_d} K_{i,i}], \quad (9)$$

где A_{max} — максимальная площадь поверхности пламени во время взрыва; определяется геометрической формой объема, в котором происходит взрыв, и положением вскрывающихся ЛСК.

Во время истечения газов из объема может сложиться ситуация, при которой через одну часть проемов истекает исходная холодная смесь, а через другую — горячие продукты сгорания. Этот факт учитывается коэффициентом истечения

$$K_{2,i} = [(1 - \xi)\sigma + \xi]^{1/2}, \quad (10)$$

где ξ — доля площади, через которую истекают холодные газы.

Используя коэффициент вскрытия для определения фактической площади проемов, перекрываемых ЛСК рассматриваемого типа, выражение (6) с учетом (8) и (9) можно преобразовать к виду:

$$A_r U_r (\sigma - 1) - \frac{\Pi(ab)n\Delta\bar{P}_C}{MK_{вскр}} \Delta t_i^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_1}} K_{i,i}, \quad (11)$$

где $\Delta\bar{P}_C$ — среднее избыточное давление, действующее на ЛСК с момента начала вскрытия до его завершения;

Δt_i — время перемещения ЛСК с момента начала вскрытия до достижения соответствующего пика.

Полагая, что $ab(n) = S_{o,h}$, получим выражение для коэффициента вскрытия:

$$K_{вскр,i} = \frac{(a + b)U_{r2}\Delta\bar{P}A_{n2}}{U_{ri}MA_{ni}} \frac{K_{i,i}}{K_{2i}} \Delta t_i^2. \quad (12)$$

Наложим условие непревышения давлением на пиках значения допускаемого давления ΔP_d и примем среднее давление равным среднеарифметическому между давлением вскрытия и допускаемым давлением. В результате получим значение коэффициента вскрытия:

- для второго пика

$$K_{вскр,2} = \frac{(a + b)\Delta P_d(1 + \Delta P_{вскр}/\Delta P_d)V_0^{2/3}}{2MU_r^2\sigma^2} K_{\phi 2}, \quad (13)$$

где K_ϕ — коэффициент, учитывающий влияние геометрической формы объема и расположения ДСК на время достижения второго пика Δt_2 :

$$\Delta t_2 = K_{\phi 2}^{1/2}(V_0^{1/3}/[U_r(\sigma - 1)]);$$

$K_{\phi 2}$ — коэффициент, увеличивающийся по мере отклонения формы объема от кубической; для кубического помещения $K_{\phi 2} \approx (0,75 \div 1)$;

- для первого пика

$$K_{вскр,1} = K_{вскр,2} \frac{U_{r2}}{U_{r1}} \frac{K_{1,i}}{K_{2,i}} \frac{A_{n2}}{A_{n1}} \frac{\Delta t_1^2}{\Delta t_2^2}. \quad (14)$$

Отношение скоростей горения на втором и первом пиках (U_{r2}/U_{r1}) обычно больше единицы (≈ 2), так как после вскрытия ЛСК происходит возмущение пламени. Отношение коэффициентов истечения ($K_{1,i}/K_{2,i}$), как правило, меньше единицы ($\approx 0,4$), а отношение (A_{n2}/A_{n1}) ($\Delta t_1^2/\Delta t_2^2$) незначительно больше единицы.

В результате различие коэффициентов вскрытия на первом и втором пиках трудно установить, поэтому разумно принять:

$$K_{вскр,1} = K_{вскр,2} = \frac{(a + b)\Delta P_d(1 + \Delta P_{вскр}/\Delta P_d)V_0^{2/3}}{2MU_r^2\sigma^2} K_{\phi 1,2}. \quad (15)$$

Подстановка в (14) данных для трехслойных панелей: $a = 1$ м, $b = 3$ м, $\Delta P_d = 3$ кПа, $\Delta P_{вскр} = 1,5$ кПа, $V_0 = (100 \div 1000)$ м³, $M = 75$ кг, $\sigma^2 = 50$ — дает чрезвычайно высокие значения коэффициентов вскрытия — порядка 10², что соответствует высокой эффективности трехслойных панелей при использовании их в качестве ЛСК.

Из проведенного анализа следует, что:

- при условии $U_{r1} \gg U_{r2}$ эффективность ЛСК определяется условиями на втором пике, за исключением тех случаев, когда имеет место инициирование горения источником с высокой энергией (струями горячих газов);
- при условиях на втором пике, ранее проанализированных в [3], получено выражение для $K_{вскр,2}$, которое совпадает с (15), если в выражение для $K_{вскр,2}$ из [3] подставить (9) для $S_{o,h}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 12.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2009. — 618 с.
2. СНиП 31-03-2001. Производственные здания : утв. Госстроем России 19 марта 2001 г. ; ввод. в действие 1 января 2002 г. — М. : ГУП ЦПП, 2001.
3. Пилигин, Л. П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций / Л. П. Пилигин. — М. : Пожнаука, 2000. — 224 с.

Материал поступил в редакцию 01.02.2010 г.

© Горев В. А., Сальмова Е. Ю., 2010 г. (e-mail: izdat_pozhnauka@mail.ru).



А. С. Подольская
младший научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва, Россия



Д. В. Ершов
канд. техн. наук, заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва, Россия

УДК 528.9

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

В границах зон ответственности лесохозяйственных предприятий и специализированных учреждений авиационной охраны лесов субъектов РФ происходят ежегодные изменения (организация новых, упразднение старых, разукрупнение или объединение авиаподразделений и лесохозяйственных предприятий; отнесение территории лесного фонда к зонам мониторинга), осложняющие корректную пространственную идентификацию детектированных по спутниковым данным очагов лесных пожаров. Для ежегодной актуализации данных территориального деления лесного фонда наступления пожароопасного сезона спроектирована и разработана специализированная геоинформационная технология. Приводится описание базовых блоков геоинформационной технологии актуализации данных, включая создание цифровых растровых карт, сбор информации об изменениях, внесение изменений, контроль данных, формирование тематических материалов, передачу актуализированных данных в систему мониторинга.

Ключевые слова: зоны мониторинга, лесной фонд, геоинформационная технология, лесные пожары.

В границах зон ответственности лесохозяйственных предприятий и специализированных учреждений авиационной охраны лесов субъектов РФ происходят ежегодные изменения, которые можно объединить в несколько групп: организация новых, упразднение старых, разукрупнение или объединение авиаподразделений и лесохозяйственных предприятий; отнесение территории лесного фонда к космической, авиационной или наземной зоне мониторинга.

Введем понятие “данные о границах территориального деления (ТД) лесного фонда”, под которыми будем понимать данные о границах лесохозяйственных предприятий, авиационных подразделений и зон мониторинга пожарной опасности, а также связанные с ними атрибутивные и справочные данные.

Данные о границах ТД лесного фонда используются в блоке мониторинга пожарной опасности Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) — аэрокосмической системы федерального уровня, включающей наземные наблюдательные пункты, воздушные патрули и космические средства слежения за лесными пожарами [1]. Относительно границ территориального деления лесного фонда осуществляется пространственная идентификация детектированных по спутниковым данным очагов лесных пожаров. Происходящие еже-

годно изменения границ ТД требуют учета в структуре ИСДМ-Рослесхоз.

Для ежегодной актуализации данных территориального деления лесного фонда до наступления пожароопасного сезона спроектирована и разработана специальная геоинформационная технология.

1. Разработка геоинформационной технологии актуализации данных территориального деления лесного фонда

На основании результатов проведенного анализа и обобщения ГИС-технологий лесоустройтельных предприятий определен состав базовых блоков геоинформационной технологии актуализации данных ТД лесного фонда: создание цифровых растровых карт, сбор информации об изменениях данных ТД, внесение изменений, контроль данных, формирование тематических материалов, передача актуализированных данных (рис. 1) [2].

Базовые блоки технологии территориально распределены по нескольким организациям, участвовавшим в разработке и обеспечивающим функционирование ИСДМ. Создание растровых карт осуществляется в ФГУ “Авиалесоохрана”. Сбор информации об изменениях данных ТД проводится посредством Web-интерфейсов, размещенных на сервере ИСДМ-Москва в Институте космических

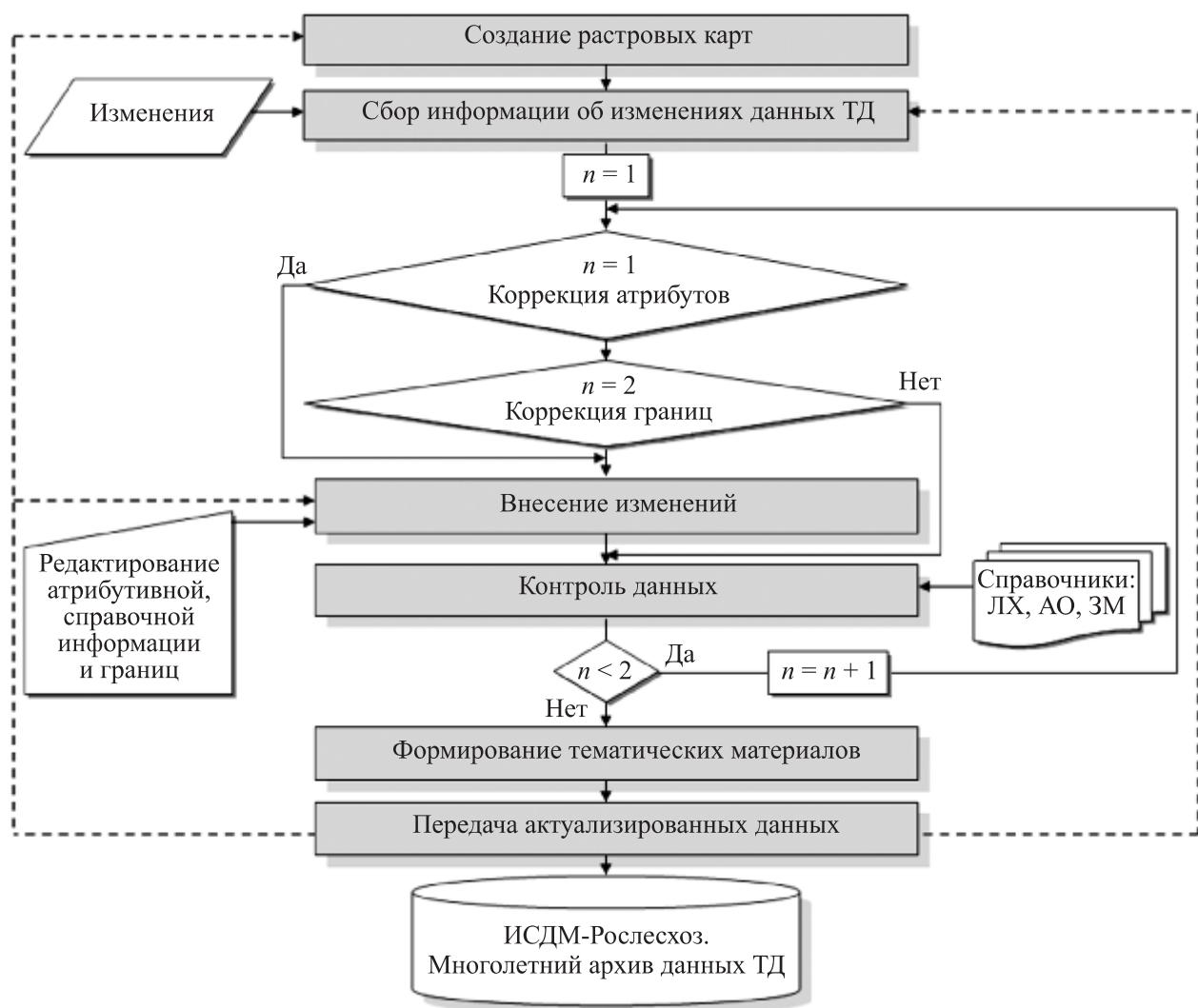


Рис. 1. Блок-схема технологии актуализации данных ТД лесного фонда

исследований (ИКИ РАН). Функционирование остальных блоков технологии осуществляется в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (УРАН ЦЭПЛ РАН). Детально рассмотрим каждый базовый блок разработанной геоинформационной технологии.

Создание растровых карт. Для того чтобы сократить время на создание карт и формализацию их содержания и оформления, была проведена автоматизация процесса создания растровых карт. Благодаря сокращению количества выполняемых пользователем операций и включению в процесс картосоставления дополнительных функций удалось достичнуть поставленных целей.

В качестве программного обеспечения создания растровых карт была выбрана геоинформационная система ArcView GIS 3.x и проведено расширение ее функциональных возможностей путем реализации дополнительных программных модулей (скрип-

тов), написанных на объектно-ориентированном языке программирования Avenue.

Для проекта-шаблона под управлением ArcView было написано пять взаимодействующих программных модулей: создание видов с предопределенным набором общегеографических и тематических цифровых слоев для создания карт просмотра и внесения изменений; определение параметров проекции; построение координатной сетки; расстановка подписей элементов общегеографического и тематического содержания; подготовка листа компоновки карты к растеризации.

При растеризации выбор формата хранения карт осуществлялся исходя из распространенности файловых форматов, определения наилучшего соотношения размер – качество и минимизации объема для передачи карт по сети Интернет.

Перспективой модернизации блока создания цифровых растровых карт является обеспечение его работы под управлением ArcGIS 9.x.

Сбор информации об изменениях данных ТД лесного фонда осуществляется посредством сети Интернет и заключается во взаимодействии с уполномоченными органами исполнительной власти субъектов РФ в области лесного хозяйства [3]. Последовательность сбора информации состоит из четырех этапов (рис. 2):

I — просмотр материалов по состоянию данных о границах ТД лесного фонда субъекта за прошедший пожароопасный сезон, осуществляемый на созданных и размещенных на сервере ИСДМ-Москва Web-интерфейсах. Материалы включают: справочники лесничеств и авиаподразделений; растровые карты границ ТД, созданные в рамках первого базового блока; формы регистрации, содержащие общенные и классифицированные по типам изменения;

II — отображение изменений региональными органами лесного хозяйства в случае обнаружения несоответствия между материалами за прошедший пожароопасный сезон и современным состоянием данных о границах ТД согласно разработанной инструкции;

III — передача информации об изменениях в границах территориального деления лесного фонда субъекта обратно на сервер ИСДМ;

IV — получение информации об изменениях из субъекта РФ.

Внесение изменений осуществляется в три типа данных: границы территориального деления, атрибутивные данные слоя границ ТД, справочники лесничеств и авиаподразделений. С учетом специфики и взаимосвязанности данных спроектированы

и разработаны ГИС-интерфейсы внесения изменений, функционирующие под управлением геоинформационной системы мониторинга лесных пожаров (ForsGIS — Fire Objects and Remote Sensing GIS), входящей в состав ИСДМ [4].

Функциональные возможности интерфейса редактирования справочников, помимо стандартных операций создания, удаления записей и сохранения изменений, включают контроль данных. Интерфейс внесения изменений в границы и атрибуты располагает всеми необходимыми и достаточными операциями пространственного редактирования.

Контроль данных. Моделирование вероятных ошибок при внесении изменений в атрибутивную и справочную информацию позволило разработать приемы контроля данных и комплекс программных мер для выявления пользовательских ошибок [5]. Выделено два вида контроля данных — контроль кодов и названий.

Контроль кодов происходит по трем уровням — ограничение длины кода, контроль разрешенных символов и состава кода. Контроль названий заключен в проверке разрешенных символов и первой буквы названия. Дополнительным видом контроля является выявление дублированных записей.

Комплекс программных модулей контроля данных интегрирован в ГИС-интерфейсы редактирования атрибутов и справочников.

Формирование тематических материалов заключается в создании отдельных слоев границ лесничеств, авиаподразделений, авиа баз и зон мониторинга. В рамках блока применяется метод

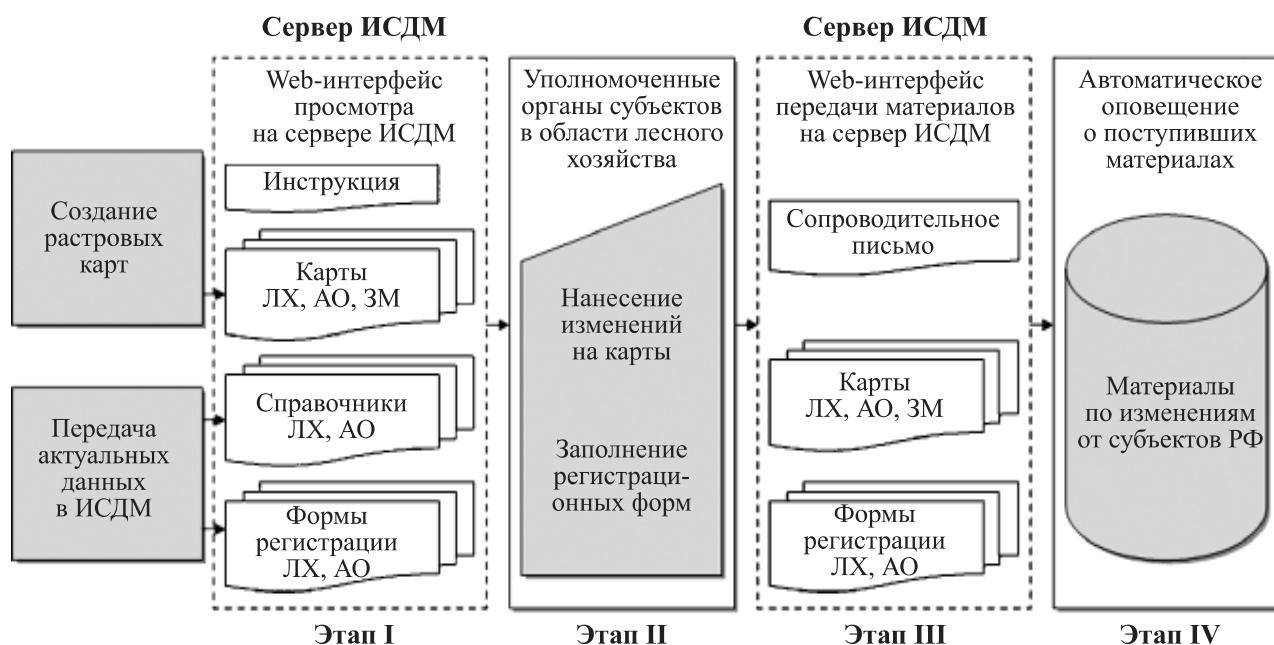


Рис. 2. Последовательность сбора информации

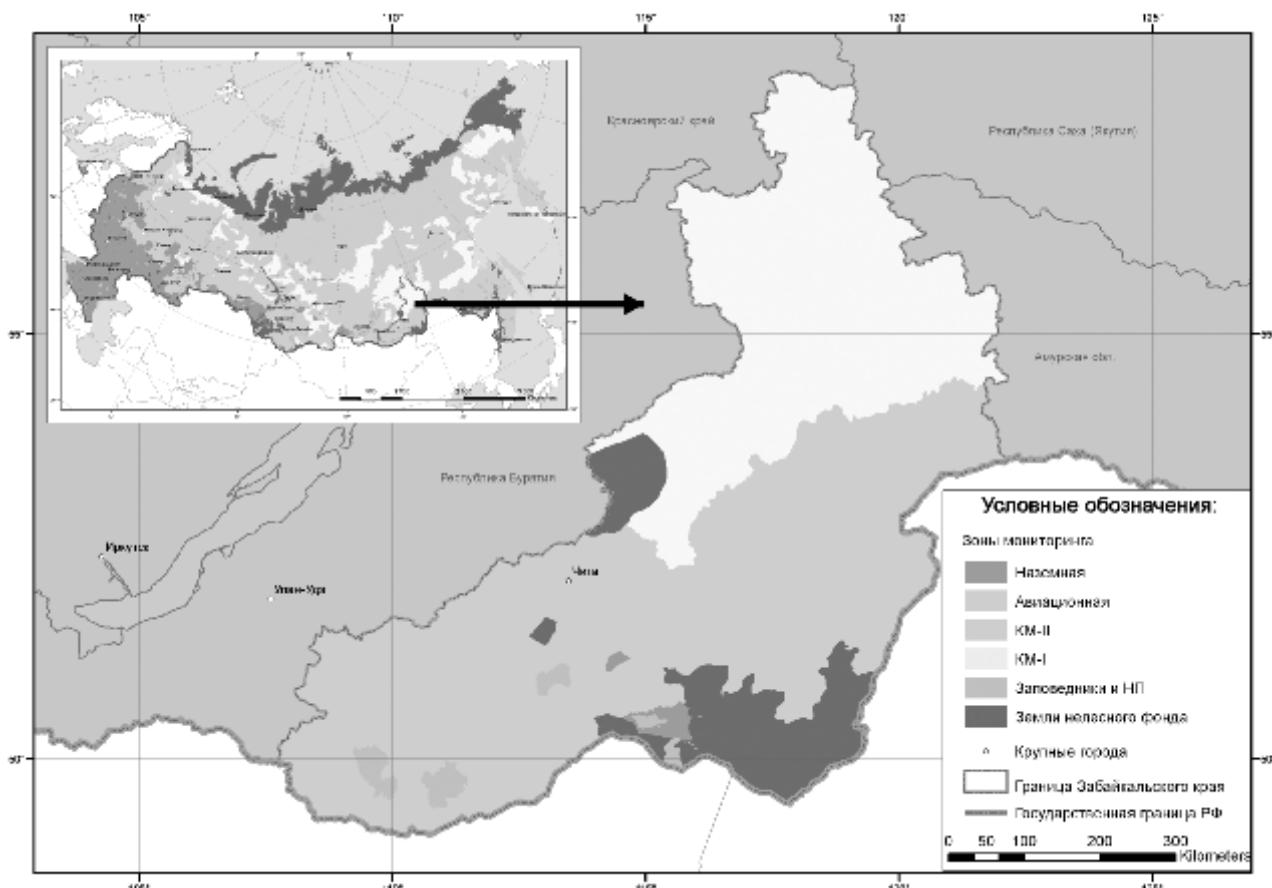


Рис. 3. Тематический слой границ зон мониторинга на территории РФ и Забайкальского края на пожароопасный сезон 2009 г.

нормализации для получения табличных структур, в которых каждое из лесничеств, авиаподразделений, авиабаз или зон мониторинга появляется однократно, т. е. исключается избыточность информации [6].

Заключительным блоком технологии является *передача актуализированных данных* в ИСДМ, базовые блоки технологии и многолетний архив данных. Переданные в ИСДМ данные используются в блоках мониторинга пожарной опасности, лесопатологии и в ГИС мониторинга лесных пожаров. Актуализированные данные поступают в три базовых блока технологии: создание растровых карт, сбор информации об изменениях и внесение изменений. Многолетний архив данных территориального деления создается с целью их применения в различных научных исследованиях.

2. Эксплуатация разработанной геоинформационной технологии

В рамках подготовительного этапа эксплуатации данной технологии было проведено обучение пользователей работе с двумя базовыми блоками —

создания растровых карт и сбора информации об изменениях.

Для проведения сбора информации об изменениях были созданы цифровые растровые карты границ лесохозяйственных предприятий, авиаподразделений и зон мониторинга на территории субъектов Российской Федерации.

С помощью данной технологии был проведен полный технологический цикл актуализации данных ТД к пожароопасному сезону 2009 г. Актуализированные данные переданы в ИСДМ. На рис. 3 представлен один из результатов работы технологии — тематический слой границ зон мониторинга. Эксплуатация технологии показала необходимость и достаточность состава и содержания базовых блоков.

Разработанные инструкции, интерфейсы сбора и внесения изменений, цифровой векторный слой границ территориального деления лесного фонда, тематические материалы используются в блоке мониторинга пожарной опасности ИСДМ и производственном процессе в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН и ФГУ “Авиалесоохрана”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ершов, Д. В.** Российская система дистанционного мониторинга лесных пожаров / *Д. В. Ершов, Г. Н. Коровин, П. П. Шуляк, Н. Б. Дворкина, К. А. Ковганко, П. В. Петров, Е. А. Лупян, А. А. Мазуров, А. А. Прошин, Е. В. Флитман, С. А. Барталев, С. А. Тащилин, Н. А. Абушенко, А. И. Беляев, Л. А. Рыбникова* // ArcReview. — 2004. — № 4. — С. 21–23.
2. **Подольская, А. С.** Геоинформационная технология обновления границ лесхозов и авиаотделений для решения задач аэрокосмического мониторинга лесных пожаров / *А. С. Подольская, Д. В. Ершов* // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сборник научных статей. — М. : ООО “Азбука-2000”, 2006. — Вып. 3. — Т. I. — С. 366–372.
3. **Подольская, А. С.** Система сбора и предварительной обработки информации об изменениях в геоинформационной технологии обновления границ лесхозов и авиаотделений / *А. С. Подольская, В. А. Малинников* // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. — М., 2007. — № 4. — С. 114–120.
4. **Барталев, С. А.** Разработка ГИС мониторинга лесных пожаров в России на основе ArcView GIS 3.0 и глобальной сети INTERNET / *С. А. Барталев, А. И. Беляев, Д. В. Ершов, Н. В. Зукерт, Г. Н. Коровин, В. В. Кошелев, Е. А. Лупян, Л. А. Рыбникова, Е. П. Сурикова, П. П. Шуляк* // ARCREVIEW. — 1998. — № 1(4). — С. 6–7.
5. **Подольская, А. С.** Методы контроля данных при обновлении границ лесхозов и авиаотделений для решения задач аэрокосмического мониторинга лесных пожаров / *А. С. Подольская, Д. В. Ершов* // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сборник научных статей. — Вып. 4. — Т. II. — М. : ООО “Азбука-2000”, 2007. — С. 290–296.
6. **Иванников, А. Д.** Геоинформатика / *А. Д. Иванников, В. П. Кулагин, А. Н. Тихонов, В. Я. Цветков*. — М. : МАКС Пресс, 2001. — 349 с.

*Материал поступил в редакцию 29 сентября 2009 г.
 © Подольская А. С., Ершов Д. В., 2010 г.
 (e-mail: alexandra@ifi.rssi.ru,ershov@ifi.rssi.ru).*



В. В. Киселев
канд. техн. наук, старший преподаватель Ивановского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, г. Иваново, Россия



А. В. Топоров
канд. техн. наук, преподаватель Ивановского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, г. Иваново, Россия



П. В. Пучков
канд. техн. наук, преподаватель Ивановского института Государственной противопожарной службы МЧС РФ, г. Иваново, Россия

УДК 669.058

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Пожарная техника подвержена интенсивному износу под действием различных отрицательных факторов. Разработана противоизносная присадка к моторным маслам, содержащая соли мягких металлов. Показаны триботехнические показатели смазки. Предложенная смазочная композиция снижает износ и способствует повышению надежности работы пожарной техники.

Ключевые слова: пожарная техника, безызносное трение, смазочная композиция.

Повышение надежности автотранспортных средств, используемых в системе МЧС и в любой другой сфере, является важной хозяйственной задачей. Результаты анализа эксплуатационных испытаний пожарных автомобилей на пробегах, близких к капитальному ремонту, в качестве основной причины отказов указывают на преждевременный износ трущихся поверхностей. Износ парка аварийно-спасательной и пожарной техники в ряде регионов России достигает 70 %. Поддержание имеющейся пожарной техники в исправном состоянии, проведение ее ремонта и технического обслуживания требуют больших материальных затрат.

Интенсивно используемая автомобильная техника подвержена негативным воздействиям ряда факторов. Это и неустановившийся режим работы, и реверс, и вибрации, и возможность попадания абразивных частиц в зону контакта трущихся поверхностей, и разнообразие внешних условий эксплуатации, вызванное как переменными нагрузками, так и изменениями в окружающей среде, — все это приводит к существенному повышению интенсивности изнашивания трущихся поверхностей деталей машин.

Применительно к пожарной технике эта проблема наиболее актуальна, поскольку в данной сфере двигатели пожарных и аварийно-спасательных

автомобилей, кроме транспортного режима, эксплуатируются еще и в стационарном режиме в качестве привода на исполнительный агрегат. Кроме того, они работают без нагрузки и в режиме прогрева, и при смене караула во время проведения ежедневного технического осмотра. Изнашивание деталей влечет за собой ухудшение технических характеристик механизмов, снижение скорости движения пожарных автомобилей, подачи и напора, развиваемых пожарными насосами. Все это приводит к преждевременной постановке автомобилей на техническое обслуживание или ремонт.

С давних пор за рубежом для снижения износа деталей машин используется образующаяся в процессе трения между контактируемыми деталями пленка, созданнаямя мягкими металлами. Отмечается, что образование такой пленки во всех случаях приводит к повышению износостойкости узлов трения, а иногда и к безызносности. Достигаемое при этом повышение износостойкости может быть объяснено явлением избирательного переноса в зоне трения, связанным с формированием на поверхности металла тончайших пленок мягких металлов, что позволяет в некоторых случаях добиться минимального износа. Избирательный перенос при трении — явление, по своему характеру противоположное изнашиванию: если при изнашивании во время

трения все процессы в зоне контакта сводятся к разрушению поверхности, то при избирательном переносе они носят созидательный характер.

Одним из наиболее экономически выгодных путей повышения надежности и долговечности различных машин и механизмов является улучшение качества смазочных материалов, в первую очередь их противоизносных и антизадирных свойств. Это может быть достигнуто введением в масла специальных высокоеффективных добавок, реализующих безызносное трение.

Авторами проводится активная работа по созданию противоизносных присадок, содержащих в своей основе соли мягких металлов. Ранее была разработана и успешно испытана присадка — смазочная композиция [1] на основе солей меди и олова предельных жирных кислот, которая предназначена для индустриальных масел общего назначения и трансмиссионных масел. Действие указанной присадки описано в работах [2, 3].

В данной работе приводим триботехнические показатели новой смазочной композиции на основе солей никеля, олова, меди и кобальта. Указанные металлы находятся в смазке в ионном виде и способны проходить через системы фильтров. Данная смазочная композиция предназначена для качественного улучшения триботехнических показателей минеральных и полусинтетических масел и смазок любой вязкости, применяемых в пожарной и аварийно-спасательной технике.

В данной работе для оценки и сравнения разработанных присадок были исследованы зависимость коэффициента трения от приложенной нагрузки, зависимость интенсивности изнашивания от пробега при фиксированной нагрузке и коррозионная активность разработанной смазочной композиции. Эти характеристики определяют границы работоспособности пары трения. Стойкость материалов к изнашиванию в различных средах и при различных режимах трения позволяет выявить ресурс и срок службы узлов трения.

Исследование триботехнических характеристик разработанной присадки проводилось на машине для испытания материалов на трение и износ модели СМТ-1. При исследовании износостойкости образца с использованием разработанной присадки режимы трения были выбраны усредненными, применительно к режимам работы большинства узлов трения машин и аппаратов. При этом скорость скольжения диска по образцу составляла 1 м/с. Нагрузка при испытаниях повышалась ступенчато до резкого увеличения момента трения; длина пути трения при смазке маслом с присадками составляла 25 км. Смазочная композиция вводилась

в зону трения капельным способом — 8–10 капель в минуту.

Образцы для испытаний масел изготавливались из стали марки 45 твердостью HRC 40...42. Все образцы имели поверхности 8-го класса шероховатости по ГОСТ 2789. Контртелом служили ролики диаметром $d = 40$ мм, толщиной 15 мм, изготовленные из стали 45 (по ГОСТ 1050) твердостью HRC 35...40.

Измерение линейного износа проводили методом “искусственных баз” по заранее нанесенным отпечаткам на твердомере ТКС-1М коническим твердосплавным индентором с углом при вершине 120°. Диаметры отпечатков устанавливались с помощью микроскопа МБС-10. Схема определения линейного износа представлена на рис. 1.

Линейный износ Δh (мкм) с учетом вогнутости поверхности определялся по формуле

$$\Delta h = \frac{(d_1 - d_2) \operatorname{tg}(90 - \alpha/2)}{2m} - \frac{d_1 - d_2}{8R}, \quad (1)$$

где d_1, d_2 — диаметр отпечатка соответственно до и после изнашивания, мкм;
 α — угол при вершине конуса индентора;
 m — цена деления шкалы микроскопа;
 R — радиус вогнутости поверхности, мкм.

Интенсивность изнашивания I (мкм/км) определялась по формуле

$$I = \Delta h/S, \quad (2)$$

где S — длина пути трения, км.

Коррозионная активность масла с присадкой определялась по методу согласно ГОСТ 20502–75. Сущность метода заключается в определении изменения массы металлических пластин, подвергавшихся периодическому воздействию испытуемого объекта и воздуха, нагретых до температуры 140 °C. Коррозионность определялась на приборе, аналогичном ДК-НАМИ, по ГОСТ 13371–67.

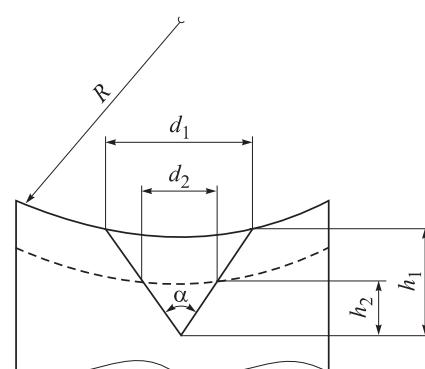


Рис. 1. Схема определения линейного износа по методу “искусственных баз”

Коррозионность масла определяли без добавления катализатора. Испытания проводили в течение 10 ч при нормативной температуре 80–90 °С и непрерывном вращении мешалки.

Пластины свинца толщиной 1 мм маркировали, протирали ватой, смоченной бензолом, просушивали 1–3 мин, полировали до блеска и взвешивали с погрешностью не более 0,0002 г.

Потерю массы свинцовой пластины X ($\text{г}/\text{м}^2$) вычисляли по формуле

$$X = m / 0,001, \quad (3)$$

где m — потери массы пластины за время испытания, г.

Коррозионность масла вычисляли как среднее арифметическое результатов определения потерь массы двух свинцовых пластин, испытываемых параллельно. При потерях массы пластины до 1 $\text{г}/\text{м}^2$ включительно считалось, что коррозия отсутствует.

Математическая обработка экспериментов показала, что оптимальное содержание присадки в масле составляет 2 % масс., что и было заложено в следующую серию исследований [4].

Введение в моторные масла разработанной присадки в концентрации 2 % масс. позволило качественно улучшить их основные триботехнические характеристики (рис. 2, 3).

Из рис. 2 видно, что модифицированное масло позволило значительно (в 1,5–2 раза) снизить коэффициент трения. Кроме того, в некоторой степени увеличился и показатель нагрузочной способности в контактирующей паре. Такие результаты были получены благодаря образованию на поверхности трения химически чистых, постоянно возобновляемых слоев антифрикционных металлов, а именно меди, олова, никеля и кобальта.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при модификации базового моторного масла М8В разработанной присадкой интенсивность изнашивания значительно снижается (до 10 раз) с увеличением пробега контактирующей пары.

Испытания на коррозионную активность разработанной смазочной композиции показали, что потери массы пластин в масле с разработанным стеаратом составили от 0,88 до 0,99 $\text{г}/\text{м}^2$, что согласно ГОСТ 20502–75 соответствует отсутствию коррозионного воздействия данной присадки на испытуемое масло.

Отметим и тот факт, что моторное масло, модифицированное разработанным стеаратом меди, олова, кобальта и никеля, гораздо стабильнее работает во всем диапазоне изученных нами нагрузок и температур в отличие от моторного масла без присадки. Поэтому разработанная присадка позволяет

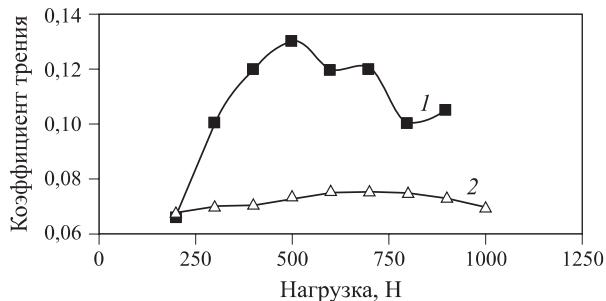


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки при использовании моторного масла: 1 — М8В, ГОСТ 10541-78, SAE 20W-20 API CB; 2 — М8В с разработанной присадкой 2 %-ной концентрации

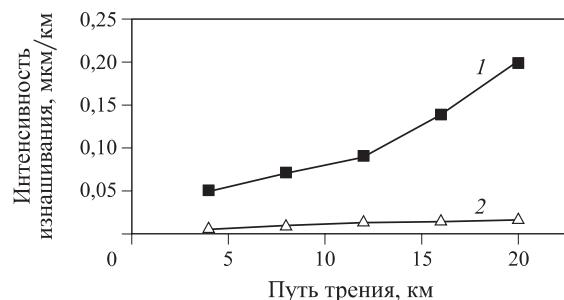


Рис. 3. Зависимость интенсивности изнашивания от длины пути трения при постоянном давлении 5 МПа при использовании моторного масла: 1 — М8В, ГОСТ 10541-78, SAE 20W-20 API CB; 2 — М8В с разработанной присадкой 2 %-ной концентрации

если не избежать, то снизить в достаточной мере эффект повышенного износа во время прогрева двигателя: один холодный пуск двигателя сравним с сотнями километров пробега автомобиля в установленном режиме.

Применение прогрессивных смазочных материалов позволит добиться значительных положительных результатов, а именно продлить ресурс работы узлов автотранспортной техники до 2 раз, резко снизить аварийные разрушения оборудования, сократить затраты на внеплановые ремонты оборудования, сэкономить горюче-смазочные материалы.

Разработанная присадка химически нейтральна ко всем видам минеральных и полусинтетических масел отечественного и импортного производства; полностью растворима маслами; не задерживается системами фильтров; не способствует коррозионным процессам.

Разработанная присадка может найти широкое применение. Выявленные в ходе экспериментов некоторые качественные характеристики значительно превосходят показатели других аналогичных присадок. Не последним достоинством присадки является простота в применении и относительно невысокая стоимость изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2233866 Российская Федерация, МПК⁷ C 10 M 159/18, С 10N 10:02. Смазочная композиция / Киселев В. В., Мельников В. Г., Замятина Н. И., Бельцова Е. А.; опубл. 2004., Бюл. № 22.
2. Киселев, В. В. Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов / В. В. Киселев, В. Г. Мельников // Эффект безызносности и триботехнологии. — 2004. — № 1. — С. 16–20.
3. Киселев, В. В. К проблеме улучшения триботехнических свойств смазочных материалов // Известия вузов. Химия и химическая технология. — 2006. — Т. 49, № 12. — С. 113–114.
4. Киселев, В. В. Исследования по выявлению оптимальной концентрации разработанного медно-оловянного комплекса в масле // Депонирована в ВИНТИ 29.04.2003, № 836.

Материал поступил в редакцию 18 сентября 2009 г.

© Киселев В. В., Топоров А. В., Пучков П. В., 2010 г.

(e-mail: slavakis76@mail.ru, ironaxe@mail.ru, palpuch@mail.ru).



ИЗДАТЕЛЬСТВО

представляем новую книгу

«ПОЖНАУКА»



Б.П. Бабуров, В.В. Бабурин, В.И. Фомин
АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И.
Автоматические установки пожаротушения. Вчера. Сегодня. Завтра:
Учебно-справочное пособие. — 294 с.

В учебно-справочном пособии рассматриваются принципы построения технических средств пожарной автоматики. Даны методы расчета установок водяного, пенного, газового, порошкового и аэрозольного пожаротушения. Изложены принципы построения систем автоматической противопожарной защиты объектов. Раскрыты основные принципы проектирования и организации эксплуатации систем автоматической противопожарной защиты. Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, монтажом и эксплуатацией установок и систем автоматического пожаротушения.

121352 Москва, ул. Давыдковская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: firepress@gmail.com



Ю. С. Подзирей
канд. физ.-мат. наук, старший научный
сотрудник Института ядерных исследований
НАН Украины, г. Киев, Украина

УДК 629.7.614.841

ДВИЖИТЕЛЬ И ДВИГАТЕЛЬ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЛЕТАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ

Приведена принципиальная схема газотурбинного подъемно-маршевого двигателя с компрессором на основе поперечно-поточного нагнетателя. Рассмотрена возможность его совместной работы с щелевым эжекторным усилителем тяги с целью замены несущего винта для противопожарной летающей платформы особо большой грузоподъемности.

Ключевые слова: противопожарная летающая платформа, газотурбинный подъемно-маршевый двигатель, щелевой эжекторный усилитель тяги.

Строительство высотных объектов в крупных городах и мегаполисах предполагает обеспечение пожаробезопасности этих объектов и их противопожарное обслуживание, которое невозможно полноценно осуществить с использованием наземной техники или вертолетов. Планом развития Москвы намечено строительство нескольких сотен зданий повышенной этажности. Беспомощно кружащийся вокруг горящей телебашни в Останкино вертолет Ка-30 непосредственно в телевизионном эфире продемонстрировал проблемы, имеющие место в этой области. Очевидна необходимость использования иных транспортных средств. Таким транспортным средством может быть летающая платформа (ЛП).

В качестве движителя ЛП обычно рассматривают винты, расположенные в горизонтальной плоскости, как у вертолета, но заключенные в кольцевые каналы, которые могут иметь внизу жалюзи, отклоняющие воздушный поток по ходу движения. При отсутствии последних для горизонтального перемещения ЛП может также использоваться ее наклон по ходу движения. Двигатель обычно турбовинтовой или турбовальновый. Каналы позволяют увеличить тягу винта и летать без риска задеть окружающие предметы. Меньшие габариты летающей платформы являются ее основным преимуществом перед вертолетом. Однако это приводит к значительному ухудшению летных и весовых характеристик. Из-за большой нагрузки на опорную площадь p (до 100 кгс/м²) ЛП нуждаются в очень мощной силовой установке. Кроме того, для ЛП нагрузка на мощность q составляет всего 2,3–2,5 кг/л. с., в то время как у вертолета она достигает 4–5 кг/л. с. Это приводит к высоким значениям параметра $q\sqrt{p}$, являющегося

“характеристикой летучести” для винтокрылых аппаратов. Поэтому летающие платформы фактически являются не самым лучшим вариантом летательного аппарата вертикального взлета и посадки. Они имеют очень низкую скорость набора высоты и малую высоту статического потолка. ЛП с винтами в кольцевых каналах обладают и другим существенным недостатком: каналы создают значительное лобовое сопротивление. Как следствие, платформа имеет низкую горизонтальную скорость. На рис. 1 представлена платформа с несущими винтами в каналах, грузоподъемность которой достаточна для доставки огнегасящих материалов и необходимого оборудования к очагу возгорания.

ЛП подобного типа имеют также значительные габариты по высоте и недостаточный полезный объем в варианте с салоном. Оценивая необходимые параметры, ЛП следует рассматривать, в первую очередь, как спасательное и противопожарное средство. Высота даже самых высоких зданий не превышает, как правило, 500 м. Поэтому требования

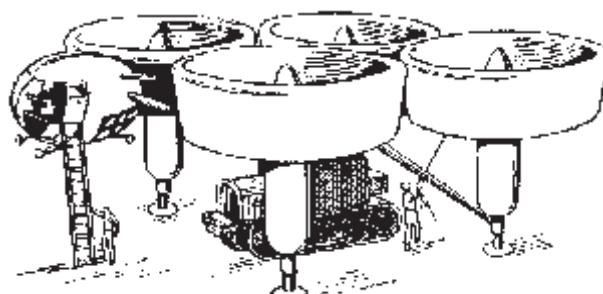


Рис. 1. Проект тяжелой летающей платформы фирмы “Хиллер”, вариант подъемного крана

по высоте статического потолка и скороподъемности могут быть снижены. Однако ЛП обязательно должна обладать возможностьюстыковки с оконным проемом на любой высоте и сохранять устойчивость в этом положении, независимо от изменения собственной массы. Платформа должна иметь радиус действия, соответствующий размерам крупных мегаполисов, и скорость полета на уровне транспортного вертолета. Использование ЛП как противопожарного средства может обеспечить ее развитие и последующее применение с минимальными изменениями конструкции и в других областях транспортировки [1, 2]. Следует вспомнить, что вертолетостроение получило развитие только после того, как вертолет продемонстрировал прекрасные возможности по эвакуации раненых непосредственно с поля боя в корейской войне.

Как показала история не вполне успешного развития этого вида летательных аппаратов, выбор движителя и двигателя являлся и является основным "моментом истины". Кольцевые каналы несущих винтов не позволяют достичь удовлетворительной горизонтальной скорости и, соответственно, радиуса действия. Поэтому в качестве источника вертикальной тяги выбор должен быть сделан в пользу сопла ввиду его меньшего бокового (перпендикулярно продольной оси) аэродинамического сопротивления. Основной недостаток сопла, его низкий к. п. д., может быть преодолен за счет подсоединения эжекторного усилителя тяги (ЭУТ) в наиболее совершенном виде — щелевого с периферийной подачей рабочего газа.

Возможность создания подобной силовой установки в виде комбинации щелевого ЭУТ с турборпоршневым двигателем рассматривалась и ранее, в работе [3]. Опорная площадь в таком случае вместе круга приобретает вид прямоугольника, вытянутого вдоль борта ЛП, что значительно сокращает ее габариты по ширине. В подобном двигателе вертикальная тяга создается выхлопом через выпускные окна, расположенные вдоль образующей трубы блока цилиндров, а горизонтальная — винтом изменяемого шага, имеющим кинематическую связь с валом многоступенчатого турбокомпрессора. Однако работа поршневого двигателя на выхлоп требует сверхвысокого давления наддува. Максимальная температура топливного цикла достигает 2500 °C, что находится на грани возможного для современного материаловедения. Большое количество деталей, расположенных внутри каждого поршня двустороннего действия, и индивидуальный для каждого поршня механизм гидродинамического торможения в мертвых точках существенно снижают безопасность полета. Частота выхлопа, непосредственно определяющая тягу двигателя, ограничена

инерциальными силами, возникающими при торможении поршней. УстраниТЬ инерциальные силы и обеспечить постоянное давление рабочего газа на выхлопе вместо импульсного, понизить максимальную температуру топливного цикла до более приемлемых 1500 °C позволяет топливный цикл со сгоранием при постоянном давлении, который используется в газотурбинном двигателе (ГТД). Однако совместная работа щелевого эжекторного усилителя тяги и обычного ГТД, имеющего круглое сопло, ведет к существенной потере давления на выхлопе. Отсюда возникает оригинальное требование к двигателю: он должен создавать на выходе плоскую струю, направленную вертикально вниз. Необходимая горизонтальная скорость может быть обеспечена тянувшим или толкающим винтом самолетного типа.

Таким образом, в качестве двигателя ЛП следует выбрать ГТД с плоской струей выхлопа, у которого сопло и винт одновременно создают тягу в ортогональных направлениях. Задача состоит в том, чтобы путем изменения геометрической формы большинства деталей, замены отдельных механизмов и размещения их в положении, обеспечивающем максимальную эффективность, создать такой подъемно-маршевый ГТД, который бы, сохранив все преимущества классического ГТД, позволил увеличить опорную площадь при уменьшении лобового сопротивления платформы, имел меньшие размеры по высоте и упрощенную систему управления.

Очевидно, что для создания плоской газовой струи на выхлопе двигателя надо иметь плоскую камеру сгорания вместо обычно используемой кольцевой; многоступенчатый компрессор, подающий в камеру плоскую струю сжатого воздуха, и газовую турбину полуоткрытого типа, которая способна снять часть энергии рабочего газа по всей длине камеры сгорания. Соответственно, воздухозаборник должен быть выполнен в виде щели, расположенной горизонтально в верхней части ЛП, а турбина и компрессор соединены мощной трансмиссией для передачи значительного крутящего момента.

Для получения плоской струи воздуха обычно используют поперечно-поточный нагнетатель (ППН), который принадлежит к классу лопаточных турбомашин с врачающейся решеткой профилей. Традиционная область их применения — вентиляционные системы промустановок и зданий, тепловые весы, газовые лазеры и т. д. Есть предложения об использовании ППН в области авиационной техники, которые имеют место начиная с 30-х годов прошлого столетия по сегодняшний день [4]. Специфической особенностью ППН является то, что воздушный поток дважды пересекает врачающуюся

решетку профилей. При этом поток воздуха на входе сжимается под действием центробежной силы, а на выходе — центробежной. Таким образом, одна ступень ППН работает как две ступени осевого или центробежного нагнетателя. Применение ППН в качестве ступеней компрессора ГТД автору данной статьи неизвестно, что позволяет с некоторой степенью осторожности заключить, что подобное предложение сделано впервые.

Коэффициенты давления и производительности на выходе ППН определяются по формулам:

$$\varphi Dbu = Q; \quad \vartheta \rho u^2 = 2p_v,$$

где φ и ϑ — соответствующие коэффициенты;

D — диаметр ротора, м;

b — длина ротора, м;

u — линейная (окружная) скорость, м/с;

ρ — плотность воздуха на входе, кг/м³;

p_v — атмосферное давление, атм.

Для ступеней высокого давления значения φ могут достигать 6–8, а для первой ступени низкого давления значения ϑ могут быть в пределах 0,8–1,25. Подобные параметры позволяют получить мощный компрессор на основе четырех ступеней, который по своим параметрам сопоставим с обычным восьмиступенчатым осевым компрессором. Принципиальная схема подъемно-маршевого ГТД с компрессором на основе ППН представлена на рис. 2.

Газотурбинный подъемно-маршевый двигатель в предлагаемом варианте работает следующим образом. От бортовой вспомогательной силовой установки или аэродромной сети питания подается напряжение в цепи контроля, управления и запуска двигателя. Роторам нагнетателя 4 (см. рис. 2) придается вращательное движение. Атмосферный воздух через щелевой воздухозаборник 2 попадает в первое колено воздухопровода, где захватывается

лопatkами ротора нагнетателя 4. Образующееся при этом диаметральное течение дважды пересекает вращающуюся решетку профилей и, обтекая возникший внутри ротора вихрь, сдвинутый направляющим аппаратом (на рис. 2 не показан), совершает поворот на угол более 90°. Посредством “языка” 1, являющегося частью воздуховода, сжатый воздух направляется последовательно во второе, третье и четвертое колено, где дополнительно сжимается аналогичным образом. Перемещением “языка” в первом колене регулируется тяга двигателя. На первой ступени обеспечивается максимальная производительность и создается низкое давление, на последующих — обеспечивается максимальное сжатие. После четырех поворотов поток сжатого воздуха приобретает первоначальное направление и попадает в камеру сгорания 12, где смешивается с топливом в пропорции, необходимой для работы двигателя в пусковом режиме. Система воспламенения и топливоподачи (на рис. 2 не показана) осуществляет зажигание топливной смеси и непрерывную подачу топлива. Рабочий газ, попадая на лопатки газовой турбины 8, создает на ее оси крутящий момент, который посредством шестерен блока 11 передается на оси нагнетателя, выходного вала редуктора 10 и источник собственного электроснабжения (на рис. 2 не показан). Вспомогательная силовая установка или аэродромное питание отключается. При степени сжатия на первой ступени, равной 1,5, степень сжатия на трех последующих ступенях может достигать 20 и более. После взлета изменение шага воздушного винта самолетного типа (на рис. 2 не показан), подсоединенного к выходному валу редуктора 10, позволяет осуществить горизонтальное перемещение ЛП вперед или назад. Специфическими особенностями двигателя являются:

1) возможность создания независимой тяги в вертикальном и горизонтальном направлениях;

2) возможность работы с наиболее эффективным видом эжекторного усилителя — щелевым с периферийной подачей рабочего газа. Коэффициент тягоусиления для подобного типа ЭУТ может достигать 1,8–2,0 [5]. Это обеспечивает эффективность выхлопа в создании подъемной силы того же порядка, что и несущий винт;

3) простота и надежность управления тягой двигателя и положения ЛП в пространстве за счет перемещения короткой заслонки на воздухозаборнике.

Особенностями использования подобного газотурбинного подъемно-маршевого двигателя является: расположение оси эжектора под углом к набегающему потоку при горизонтальном движении ЛП, что позволяет обеспечить эффективность его работы при скоростях более 100 км/ч; возможность последовательного соединения нескольких двига-

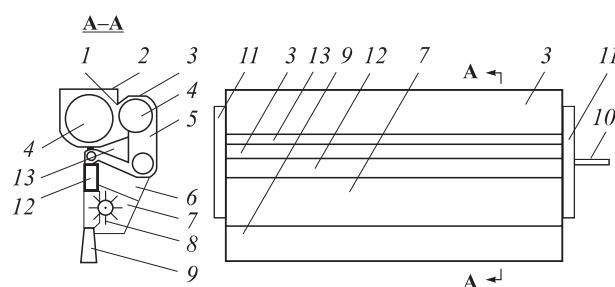


Рис. 2. Газотурбинный подъемно-маршевый двигатель: 1 — устройство управления тягой в виде “языка”; 2 — щелевой воздухозаборник; 3 — корпус нагнетателя; 4 — роторы многоступенчатого поперечно-поточного нагнетателя; 5 — воздуховод; 6 — картер; 7 — корпус одноступенчатой газовой турбины полуоткрытого типа; 8 — турбина; 9 — сопло двигателя; 10 — выходной вал редуктора; 11 — блок шестерен; 12 — камера сгорания; 13 — расходный топливный бак

телей через упругие самодействующие муфты, позволяющие отключать аварийный двигатель силовой установки; работа двигателей с единым щелевым эжекторным усилителем тяги с периферийной подачей рабочего газа; возможность создания горизонтальной тяги посредством тянувшего и толкающего винтов одновременно, при наличии выходного вала на обоих торцах двигателя.

Большинство летательных аппаратов имеют потери подъемной силы на управление (балансировочные потери). Для обычных подъемно-маршевых ГТД управление положением летательного аппарата в пространстве осуществляется за счет отбора воздуха в компрессоре после ступени низкого давления, что заметно снижает тягу двигателя (до 10 %) [6]. Для предлагаемого ГТД расположение небольших подвижных заслонок на концах обоих щелевых воздухозаборников позволяет регулировать величину потока воздуха, попадающего в компрессор, и, соответственно, увеличивать или уменьшать тягу двигателя в заданном месте, что обеспечивает управление ЛП по крену и тангажу с меньшими энергетическими потерями. Дифференцированное изменение шага винтов по бортам платформы обеспечивает управление по курсу. На рис. 3 представлено поперечное сечение корпуса противопожарной платформы, которая позволит доставлять к высоко расположенному очагу возгорания достаточное количество огнегасящих материалов и средства пожаротушения.

Имеется также возможность значительно расширить радиус действия ЛП при наличии ровной

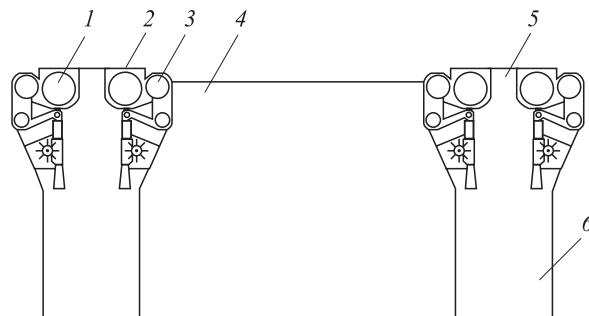


Рис. 3. Поперечное сечение корпуса платформы особы большой грузоподъемности: 1 — ротор ступени низкого давления; 2 — щелевой воздухозаборник; 3 — ротор второй ступени; 4 — салон; 5 — щель атмосферного пассивного потока ЭУТ; 6 — камера смешения ЭУТ

поверхности за счет экранного полета. Небольшое смещение поперечных осей ЭУТ от вертикали в сторону салона приведет к появлению “фонтанного” эффекта, обнаруженного ранее для самолетов вертикального взлета и посадки.

Рассмотренный выше подъемно-маршевый ГТД, выполненный в виде линейного генератора газа, работающего с щелевым эжекторным усилителем тяги, оптимизирует форму опорной площади, уменьшает лобовое сопротивление и габариты ЛП по ширине и высоте. Переход на иную геометрию подъемно-маршевого ГТД позволяет создать аэромобильное противопожарное спасательное средство на базе существующего уровня материала-ловедения и технологий, которые отработаны при налаженном серийном производстве обычных ГТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Подзирей, Ю. С.** О возможности замены несущего винта линейным генератором газа / Ю. С. Подзирей // Авиация общего назначения. — 2002. — № 10.
2. **Томила, Б. Д.** Безопорные транспортные средства — проблемы и перспективы / Б. Д. Томила, Ю. С. Подзирей // Арсенал XXI. — 2006. — № 1–2.
3. **Коровкин, А. Г.** Новые области применения диаметральных вентиляторов / А. Г. Коровкин, А. Д. Савчук, А. А. Долгополов // Полет. — 2002. — № 4.
4. **Подзирей, Ю. С.** Аэромобильное противопожарное средство для высотных объектов / Ю. С. Подзирей // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 64–67.
5. **Ененков, В. Г.** Авиационные эжекторные усилители тяги / В. Г. Ененков, А. Л. Клячкин, В. С. Коротаев, В. М. Супрун. — М. : Машиностроение, 1980. — 133 с.
6. **Павленко, В. Ф.** Силовые установки с поворотом вектора тяги в полете / В. Ф. Павленко. — М. : Машиностроение, 1986. — 196 с.

Материал поступил в редакцию 15 декабря 2009 г.
© Подзирей Ю. С., 2010 г.
(e-mail: interdep@kinr.kiev.ua).



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, ул. Давыдковская, д. 12, стр. 7
тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34
e-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 15 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

Научно-техническая литература и периодика, выпускаемые ООО “Издательство “Пожнаука”, распространяются по всей территории Российской Федерации, в странах СНГ, Балтии и в ряде зарубежных стран.

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 г. Периодичность — 12 номеров в год. С октября 2001 г. журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 г. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

Виды рекламы в журнале “Пожаровзрывобезопасность” и расценки на ее размещение

1. Реклама на обложке (полноцветная):
2-я полоса — 28 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
3-я полоса — 25 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
4-я полоса — 35 000 руб. + 2 черно-белых полосы бесплатно.
2. Рекламная статья: 1/1 черно-белой полосы — 15 000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные вклейки:

| Размер модуля | Стоймость полноцветного модуля, руб. |
|---------------------------|--------------------------------------|
| 1/1 полосы (215 × 300 мм) | 28 000 |
| 1/2 полосы (190 × 137 мм) | 15 000 |

5. Реклама справочного характера (название компании, контактные данные, перечень предлагаемых услуг и продукции — 500 печатных знаков) — 2300 руб.

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

**ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ
В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

СПЕЦИАЛЬНОЕ АНТИКРИЗИСНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ! С ФЕВРАЛЯ 2010 г.

| Авторы | Наименование | ISBN | Цена, руб./экз. |
|---|--|-------------------|-----------------|
| СУПЕРСКИДКИ | | | |
| Баранин В. Н. | Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — 2004. — 332 с. | 5-901-283-02-5 | 70 |
| Корольченко А. Я., Корольченко О. Н. | Средства огнезащиты: справочник. — 2006. — 258 с.: ил. | 5-903049-04-4 | 100 |
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с. | 5-98629-001-1 | 50 |
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с. | 5-98629-004-6 | 36 |
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность складов: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2004. — 240 с. | 5-98629-004-6 | 50 |
| Собурь С. В. | Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил. | 5-98629-008-9 | 50 |
| Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А. | Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с. | 5-903049-09-5 | 280 |
| Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушинский А. В. | Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с. | 5-903049-12-5 | 280 |
| Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушинский А. В. | Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с. | 5-903049-11-7 | 280 |
| Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. | Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — Изд. 2-е, испр. и доп. — 2007. — 380 с. | 978-5-91444-002-9 | 310 |
| Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. | Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с. | 5-903049-02-X | 120 |
| НОВИНКИ | | | |
| | Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с. | 978-5-91444-012-8 | 1500 |
| | Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с. | | 220 |
| Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И. | Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2009. — 294 с. | 978-5-91444-011-1 | 400 |
| Бондарь В. А. | Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с. | 978-5-91444-004-3 | 220 |
| Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В. | Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с. | 978-5-91444-007-4 | 350 |
| Долговидов А. В., Теребнев В. В. | Автоматические установки порошкового пожаротушения. — 2008. — 322 с. | 978-5-91444-005-X | 310 |
| Корольченко А. Я. | Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с. (Пособие написано с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!) | 978-5-91444-013-5 | 350 |

| Авторы | Наименование | ISBN | Цена, руб./экз. |
|---|--|------------------------------|-----------------|
| Корольченко А. Я., Загорский Д. О. | Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с. (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!). | 978-5-91444-015-9 | 250 |
| Корольченко А. Я., Корольченко О. Н. | Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. | 978-5-91444-010-4 | 540 |
| Корольченко Д. А., Громовой В. Ю. | Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!). | Выходит в феврале 2010 г. | |
| Смелков Г. И. | Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с. (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!). | 978-5-9901554-2-8 | 540 |
| 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. (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!). | 978-5-91444-008-1 | 950 |
| Брушлинский Н. Н., Корольченко А. Я. | Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с. | | 540 |
| Горшков В. И. | Тушение пламени горючих жидкостей. — 2007. — 268 с. | 5-903049-08-7 | 250 |
| Грачев В. А., Собурь С. В. | Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил. | 5-98629-006-2 | 345 |
| Корольченко А. Я. | Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. | 978-5-91444-001-2 | 450 |
| Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. | Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2008. — 314 с. | 5-903049-10-9 | 300 |
| Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. | Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с. | 5-901283-02-3 | 2500 |
| Корольченко А. Я., Трушкин Д. В. | Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с. | 978-5-91444-006-7 | 250 |
| Пилигин Л. П. | Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил. | 5-901283-03-1 | 240 |
| Подстаков В. В., Теребнев В. В. | Подготовка пожарных-спасателей. Противопожарная служба гражданской обороны. — 2007. — 288 с.: ил. | 5-901520-06-8-006-2 | 345 |
| Собурь С. В. | Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. | 5-98629-005-4 | 90 |
| Собурь С. В. | Краткий курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 296 с.: ил. | 978-5-98629-016-4 | 140 |
| Собурь С. В. | Огнетушители: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. — 2008. — 80 с. | 978-5-98629-020-1 | 50 |
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил. | 978-5-98629-014-0 | 125 |
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: пособие. — Изд. 12-е, перераб. — 2008. — 496 с.: ил. | 978-5-98629-023-2 | 250 |

| Авторы | Наименование | ISBN | Цена, руб./экз. |
|---|---|--------------------------------|-----------------|
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность промпредприятий: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с. | 5-98629-013-5 | 110 |
| Собурь С. В. | Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 272 с. | 5-98629-012-7 | 145 |
| Собурь С. В. | Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с. | 5-98629-003-8 | 150 |
| Теребнев В. В. | Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: справочник. — 2007. — 256 с.: ил. | 5-902604-06-0 | 330 |
| Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А. | Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с. | 5-91017-019-8 | 385 |
| Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушин А. В. | Здания повышенной этажности: учебное пособие. — 2006. — 240 с. | 5-903049-06-0 | 300 |
| Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В. | Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с. | 5-91017-016-3 | 390 |
| Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В. | Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил. | 5-901520-06-8-006-2 | 340 |
| Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А. | Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с. | 5-91017-019-9 | 460 |
| Теребнев В. В., Подгрушин А. В. | Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с. | 5-91017-019-8 | 595 |
| Теребнев В. В., Теребнев А. В. | Управление силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 264 с. | 5-98135-009-1 | 330 |
| Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушин А. В., Грачев В. А. | Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с. | 5-98135-004-0 | 330 |
| Теребнев В. В., Ульянов Н. И., Грачев В. А. | Пожарная техника: учебное пособие: в 2 т. — 2007. — Т. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. — 328 с.; Т. 2: Пожарные машины. Устройство и применение. — 328 с.: ил. | 5-91017-016-4 5-91017-016-5 | 495 |
| Теребнев В. В., Шадрин К. В. | Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с. | 5-91017-019-8 | 420 |
| | Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия | | 980 |

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

ООО “Издательство “Пожнапука” продолжает подписку на 2010 г. на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”.

| | Стоимость, руб. |
|---|-----------------|
| 1-е (2-е) полугодие 2010 г. | |
| Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера) | 3790 |
| Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера) | 1140 |

Подписка осуществляется через следующие агентства:

| Название организации | Телефон/факс | Адрес | Индекс в каталоге |
|------------------------------------|----------------------------|--|-------------------|
| Агентство подписки и розницы "АПР" | (495) 974-11-11 | 123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4 | 83647 |
| Агентство "РОСПЕЧАТЬ" | (495) 921-25-50 | 123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4 | 83340 |
| Агентство "ВСЯ ПРЕССА" | (495) 787-34-47, 787-36-31 | 127015, Москва, ул. Новодмитровская, д. 5А | — |
| Агентство "ИНТЕР-ПОЧТА" | (495) 500-00-60, 684-55-34 | 129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2 | — |
| Агентство "УРАЛ-ПРЕСС XXI" | (495) 789-86-37, 789-86-36 | 125040, г. Москва, ул. Нижняя Масловка, д. 11-13 | — |
| Агентство "Артос-ГАЛ" | (495) 981-03-24 | г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2 | 107564 |
| ООО "Информнаука" | (495) 787-38-73, 152-54-81 | 125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20 | — |
| ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА" | (495) 672-70-12, 672-72-34 | 111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 10 | — |

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ, распространяющих литературу "Издательства "Пожнаука"

| Название организации | Адрес | Телефон/факс |
|--|--|---|
| 1. Альфа-библиос | 109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 3, стр. 1, ком. 15 | (495) 298-06-41, 933-81-08 |
| 2. Бизнес-пресса | 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Разъезжая, д. 39 | (812) 764-56-01, 764-57-00 |
| 3. ДиА Медиа | 127560, г. Москва, а/я 97 | (495) 158-63-45, 500-62-28 |
| 4. Дом Техкниги на Ленинском проспекте | 119334, г. Москва, Ленинский просп, д. 40 | (495) 137-60-38 |
| 5. Ивкнига | 153038, г. Иваново, ул. Кудряшова, д. 98 | (4932) 56-15-76, 56-20-77, 56-15-01, 53-78-72 |
| 6. Издательский дом "ИНФРА-М" | 127282, г. Москва, ул. Полярная, д. 31в | (495) 380-05-40, 363-42-60, 363-92-12 |
| 7. Книжный дом ЦУПЛ | 111123, г. Москва, ш. Энтузиастов, д. 56 | (495) 788-50-30 |
| 8. КНОРУС | 129100, г. Москва, ул. Б. Переяславская, д. 46 | (495) 680-72-54, 680-91-13 |
| 9. НИЦ "Норматив-информ" | 109417, г. Москва, Рязанский просп., д. 82, кор. 5, а/я 37 | (495) 382-08-39 |
| 10. НТЦ "ИРАМ" | 162627, Вологодская обл., г. Череповец, ул. Металлургов, д. 12 | (8202) 57-43-68 |
| 11. Оптимал-Тверь | 170024, г. Тверь, просп. 50 лет Октября, д. 3Б, оф. 503 | (422) 42-81-08, 42-81-37 |
| 12. Техническая книга | 660049, г. Красноярск, ул. К. Маркса, д. 78, 2-й этаж | (3912) 40-77-83, 27-52-86 |
| 13. Т-Книга | 460052, г. Оренбург, ул. Салмышская, д. 25, к. 4 | (3532) 77-49-06 |
| 14. Урал ИнфоСервис | 620138, г. Екатеринбург, а/я 23 | (343) 349-04-55, 349-05-75, 349-04-50 |

Образец заявки для оформления заказа на литературу

| |
|--|
| Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно) |
| Наименование и количество заказываемой литературы |
| Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 20 % от стоимости заказа) |
| Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо |

Желающие сделать заказ в "Издательстве "Пожнаука" (г. Москва)

могут отправить заявку в отдел распространения:

- по почте: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, 445-42-34;
- по e-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com.



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры и краткие сообщения, комментарии и собственно нормативно-технические документы, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные автора должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общезвестных 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 желательны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья должна быть представлена на бумажном и магнитном носителях или может быть послана в редакцию по электронной почте (mail@firepress.ru). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см. При первой ссылке на рисунки и таблицы в тексте на полях проставляются их номера.

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи (на русском и английском языках);
- имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью), должности, степени, звания и название организации (полностью) (на русском и английском языках), фотографии авторов, контактные телефоны, почтовый и электронный адреса. Число авторов — не более трех от одной организации и не более четырех от разных организаций. Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках;
- аннотация (на русском и английском языках);
- ключевые слова (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- рисунки и подписи к ним.

4. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и $\bar{\Omega}$); греческие буквы подчеркиваются красным карандашом. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

5. Иллюстрации (на бумажном носителе и электронные 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 представляются в формате той программы, где они созданы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

6. Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения, однотипные таблицы строятся одинаково. Цифровые данные следует округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться.

7. Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования или по алфавиту. 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.

8. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Normative Regulation of Independent Estimation of Fire Risk (Fire Safety Audit), Fire Safety Avowal

Kolesnikov P. P., Head of Projection and Examination Department of Scientific-Expertise Bureau of Fire, Ecological Safety and Safety in Building Emergency Situations CSRIBC named by V. A. Kucherenko, Moscow, Russia

The information about independent estimation of fire risk (fire safety audit), fire safety avowal, stipulated by Federal law "Technical enactment about fire safety requirements" is given in this article.

Key words: independent estimation of fire risk (fire safety audit), fire safety declaration.

Experimental Research of Heated Particle Form Influence on Ignition Characteristics of Liquid Fuels

Kuznetsov G. V., Dr. of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Zaharevich A. V., Assistant, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Maksimov V. I., Cand. of Technics, Senior Lecturer, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The results of an experimental study of laws governing the ignition of liquid propellants (kerosene, diesel fuel and petroleum residue) by the single spherical steel particle heated to high temperatures are presented. Comparison of the ignition delay times of the investigated flammable substances by the particles in the sphere and disk forms is carried out. It is established that the particle shape does not exert a substantial influence on the ignition process characteristics.

Key words: experimental researches, liquid fuel, the form of a steel particle, ignition delay time, particle temperature.

Description and Prediction of Flash Temperature of Esters within the Limits of Additive-Group Method

Batov D. V., Dr. of Chemistry, Professor of Ivanovo Institute of SFS of Emercome Therefore, Chief Scientist of Institute of Solution Chemistry RAS, Ivanovo, Russia

Mochalova T. A., Cand. of Biological Sciences, Lecturer of Ivanovo Institute of SFS of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Petrov A. V., Cand. of Chemistry, Associate Professor, Senior Lecturer of Ivanovo Institute of SFS of Emercome RF, Ivanovo, Russia

The variant of a group additivity method is adapted for calculation of flash temperature of esters. High precision of description and prediction of flash temperature of the studied compounds is demonstrated.

Key words: esters, flash temperature, fire hazard, additive-group method.

The Investigation of Thermodynamical Compatibility of the Plasticizer and Rubbers – Components of the Solid-Fuel Elements

Rusinova E. V., Dr. of Chemistry, Prof., Chair of Chemistry and Fire Processes, Ural Institute of State Fire Service of Ministry for Emergency, Prof. Chair of High-Molecular Compounds, Ural State University Named by A. M. Gorkiy, Yekaterinburg, Russia

Evtyuhov S. A., Cand. of Technics, Associate Professor, Chief of Chemistry and Fire Processes, Ural Institute of State Fire Service of Ministry for Emergency, Yekaterinburg, Russia

The results of experimental investigations of thermodynamical compatibility of rubbers and di(butyl)phtalate are presented. Phase diagrams of rubbers solutions have been obtained. It is shown that the largest temperature range of compatibility realized for the nitrile rubber solutions. The obtained phase diagrams may be used for the forecasting of effectiveness of the fuels with rubbers and di(butyl)phtalate.

Key words: thermodynamical compatibility, rubber, plasticizer, phase diagram.

Modeling of Generation Explosive Cloud under Evaporation from Oil Surface Spill

Galeev A. D., Cand. of Technics, Associate Professor, Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

Ponikarov S. I., Dr. of Technics, Professor, Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

A model describing evaporation process from oil surface spill is presented. A model also allows to determine changing in time and space the mass of explosive vapours in cloud which bounded with concentration limits of flame propagation.

Key words: oil evaporation, numerical simulation, explosive cloud.

Some Characteristics of Thermogas Dynamic Fire Pattern in High Premises

Puzach S. V., Honoured Science Worker of RF, Dr. of Technics, professor, Head of Department of the State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Abakumov E. S., Lecturer of the State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

The features thermal and gas dynamic picture of fire in the room with large height are investigated in case of combustible liquid. The simulation results of descending dynamics of down boundary of gas under-ceiling layer during fire are presented. There are

used some zone and field mathematical models. The comparison between theoretical and experimental results is made. It is shown that the form of convective column existed over fire source must be taken into consideration in zone models. It is remarked that non-boundary free convection approach is not reflected the real thermal and gas dynamics picture of fire.

Key words: convective column; gas under-ceiling layer; heat-mass exchange

Quantitative Criterion for Classification of Accidental Gas Releases

*Yakush S. E., Dr. of Physico-Mathematical Sciences, Chief Scientist,
Institute of Problems in Mechanics named by A. Yu. Ishlinsky RAS, Moscow, Russia*

*Makhviladze G. M., Professor, Head of Fire Investigation Centre of the University
of Central Lancashire, Preston, UK*

A quantitative criterion is considered which allows the probable release type (cloud, jet, intermediate) following accidental depressurization of a gas vessel to be determined, depending on the vessel volume, breach size, storage conditions and gas properties. Relationships for the critical diameters dividing different release regimes are obtained. For the transient releases, the fuel mass fraction burning in a fireball is estimated. Practical examples demonstrating the use of the quantitative criterion are presented.

Key words: vessel depressurization, accidental releases, combustion, fireball.

Usage of Sandwich-Panels as Effective Easily Jettisonable Constructions by Inside Combustions in Industrial Buildings

*Gorev V. A., Dr. of Physico-Mathematical Sciences, Professor of Fire Safety Department
of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

*Salymova Ye. Yu., Fifth-Year Student, Fire Safety Department of Moscow State University
of Civil Engineering, Moscow, Russia*

New method of explosion-proof ensuring for industrial buildings by usage of sandwich-panels as enclosures and easily jettisonable constructions by inside combustions is examined in this work. Highs of this method in building design and reconstruction are shown.

Key words: highly explosive premises, jettisonable constructions, inside combustion, enclosures, excess pressure.

Geoinformation Technology of Actualization of the Forest Resources Territorial Differentiation Data for Fire Risk Monitoring

*Podolskaya A. S., Junior Research Assistant of Forest Ecosystems Monitoring Laboratory
of the Centre of Ecology and Forest Productivity Problems RSA, Moscow, Russia*

*Yershov D. V., Cand. of Technics, Head of Forest Ecosystems Monitoring Laboratory
of the Centre of Ecology and Forest Productivity Problems RSA, Moscow, Russia*

There are annual changes in forest enterprise and air forest protected service borders of the subjects of Russian Federation (organization new ones, abolition or affiliation etc.), complicating correct spatial identification of the forest fire location detected by satellite sensor. For annual actualization of the data of territorial division of forest resources before a fire hazard season the specialized geoinformation technology is designed. In the article the description of base modules of geoinformation technology of actualization of the data, including creation of digital raster maps, data acquisition on changes, map edition, data control, formation of thematic materials, transfer of the updated data to the fire monitoring system is resulted.

Key words: monitoring areas, forest resources, geoinformation technology, forest fires

Increasing of the Reliability and Functionality of Fire Equipment by Using of the New Lubricating Compositions

*Kiselev V. V., Cand. of Technics, Senior Lecturer of the Mechanical and Engineering Graphics Department
of Ivanovo State Fire Service Institute, Ivanovo, Russia*

*Toporov A. V., Cand. of Technics, Lecturer of the Mechanical and Engineering Graphics Department
of Ivanovo State Fire Service Institute, Ivanovo, Russia*

*Puchkov P. V., Cand. of Technics, Lecturer of the Mechanical and Engineering Graphics Department
of Ivanovo State Fire Service Institute, Ivanovo, Russia*

Fire equipment has high wear due to the act of numerous of negative factors. The anti-wear lubricating composition containing the soft metals salts is designed. The tribotechnical characteristics of designed lubricating composition are shown. Designed lubricating composition permits decrease fire equipment wear.

Key words: fire equipment, wearless friction, lubricating composition.

Propelling and Engine of Fire Prevention Flying Platform

*Podzirey Yu. S., Cand. of Physico-Mathematical Sciences, Senior Research Assistant
of the Institute of Nuclear Researches NSA of Ukraine, Kiev, Ukraine*

Principle circuit of gas turbine vectored-thrust engine with compressor based on a cross-line supercharger is given. Possibility if its joint operation with ejector traction amplifier for the purpose of changing the carrying screws for special heavy-lift fire prevention flying platform is examined.

Key words: fire prevention flying platform, gas turbine vectored-thrust engine, ejector traction amplifier for the purpose.

Председатель Редакционного совета:

д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Зам. председателя Редакционного совета:

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
Ю. М. Глуховенко

д.т.н., профессор, академик Нью-Йоркской академии наук
В. В. Мольков

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ А. Н. Баратов

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

д.т.н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушинский

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

д.т.н., профессор, академик РАЕН
А. В. Мишуев

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
В. М. Ройтман

д.т.н., профессор,
действительный член НАНПБ Б. Б. Серков

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
С. В. Пузач

д.т.н., профессор, академик РАЕН, НАНПБ
Н. Г. Топольский

д.т.н., член-корреспондент МАНЭБ
Н. А. Тычино

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
Ю. Н. Шебеко

профессор Т. Дж. Шилдс

д.т.н., профессор, академик и почетный член РАЕН
В. В. Холщевников

Редакция:

Главный редактор журнала

д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редакторы:

Л. В. Крылова, Т. В. Сергунина

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Deputy of Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science Yu. M. Gluhovenko

Dr.Sc.(Eng.), Professor, an Active Member of the New-York Academy of Sciences V. V. Molkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor V. P. Nazarov

Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science, the Honoured Scientist of the Russian Federation A. N. Baratov

Dr.Sc.(Eng.), Professor N. M. Barbin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian Federation N. N. Brushlinsky

Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev

Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko

Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences A. V. Mishuev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy V. M. Roitman

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science B. B. Serkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, National Academy of Fire Science N. G. Topolskiy

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science Yu. N. Shebeko

Professor Thomas Jim Shields

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member of the Russian Academy of Natural Sciences V. V. Kholshchevnikov

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Editor-in-Chief

N. N. Sokolova

Editors:

L. V. Krylova, T. V. Sergunina

PR and Subscription Section:

E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
E-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com
<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 08.02.10.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство "Пожнauка" предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве" на 2010 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и три номера журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и шесть номеров журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7580 руб. (в том числе НДС — 18 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2010

| Издание | Цена подписки, руб., включая НДС | Количество экземпляров | Стоимость подписки, руб. |
|---|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Комплект журналов "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год | 3790 7580 | | |
| Журнал "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год | 1140 2280 | | |

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 445-42-34 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 445-42-34**

ПОДПИСКА:

через редакцию журнала "Пожаровзрывобезопасность";

через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;

через агентство "АПР", индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");

через подписные агентства:

ООО "Вся пресса", ООО "Интер-почтa", ООО "Урал-Пресс XXI",

ООО "Артос-ГАЛ", ООО "Информнаука", ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА"

Вы можете также отдельно подписатьсь на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. (в том числе НДС — 18 %). Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Расширяя тематику журнала, в 2010 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

**Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания
по тематике журнала и содержанию публикуемого материала.
Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!**



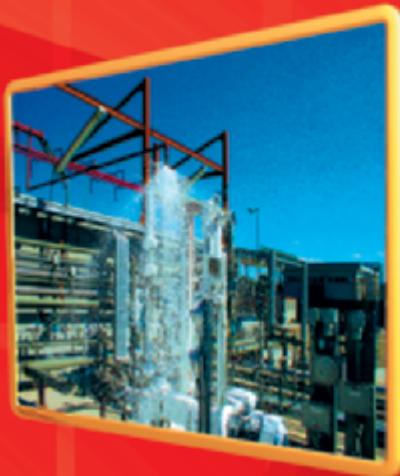
Карточка учета сведений о подписчике

| | |
|--|--|
| Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами) | |
| Идентификационный номер (ИНН) | |
| Код отрасли по ОКОНХ | |
| Код отрасли по ОКПО | |
| Полное наименование банка | |
| Местонахождение банка | |
| БИК | |
| Расчетный счет | |
| Корсчет | |
| Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами) | |
| Фактический адрес | |
| ПОЧТОВЫЙ АДРЕС | |
| Индекс | |
| Область, край | |
| Город | |
| Улица | |
| Дом | |
| Телефон | |
| Факс | |
| | |
| Контактное лицо | |
| Телефон контактного лица | |

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь**
типа AFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности.
Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности.
С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

ISSN 0869-7493

