

# ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2'2011

**Современные самоспасатели для защиты органов дыхания и зрения**

**Влияние площади и количества дымоприемных отверстий на эффективность работы импульсной противодымной вентиляции закрытых автостоянок**

**Оценка пожароопасности растительного масла и лака косвенными методами**



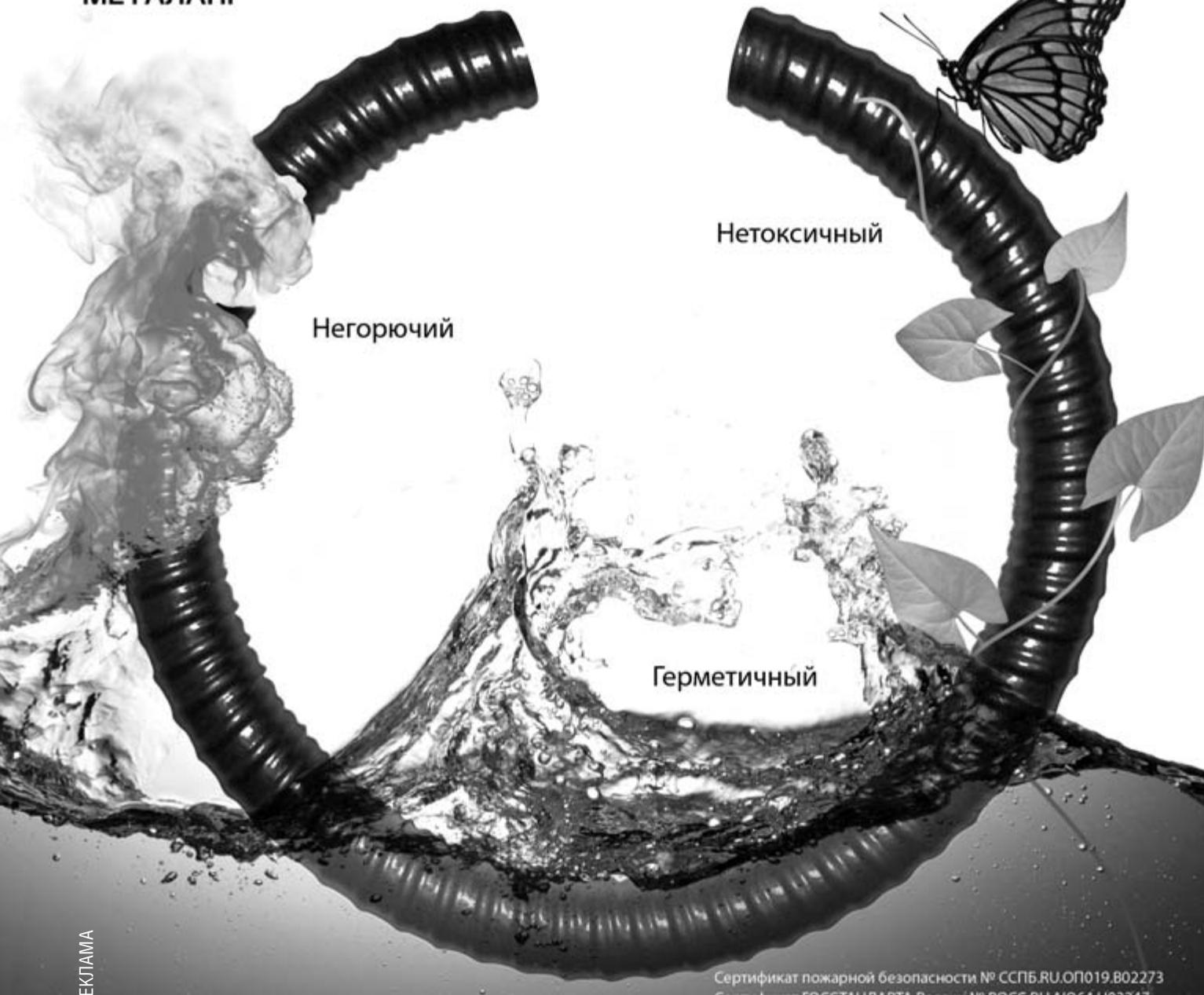
**Перспективные современные разработки техники для тушения лесных пожаров**

**Учет вторичных воздушных потоков при математическом моделировании распыленных водяных струй**

**Диспетчер как двухфазная система массового обслуживания**



## Металлополимерный рукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF



РЕКЛАМА

### Металлорукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF с защитной полимерной оболочкой

- не распространяющий горение
- малодымный
- нетоксичный
- герметичный
- гибкий
- увеличенная прочность на разрыв
- диапазон температур – от -50 до +70 °C
- степень защиты IP 65
- сертифицирован

### Сфера применения:

- на объектах с повышенной пожароопасностью: тоннели, мосты, метро, жилые здания, склады, заводы, суда, объекты нефтегазового и энергетического комплексов и другие
- прокладка проводов во влажных помещениях
- защита кабеля при скрытой и открытой прокладке
- в системах кондиционирования и обогрева
- в подъёмно-транспортном оборудовании
- для транспортировки порошкообразных и сыпучих веществ

**ПОЖИЗНАУКА** Издательство

А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко  
**“СРЕДСТВА ОГНЕ- И БИОЗАЩИТЫ”**

Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.



В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вслучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.

**Внимание!!!  
Распространяется  
БЕСПЛАТНО!!!**

[www.firepress.ru](http://www.firepress.ru)

По вопросам оформления заявки на бесплатное получение справочника просьба обращаться по тел.: (495) 228-09-03 (многоканальный) или по e-mail: mail@firepress.ru

# ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

## Том 20 • № 2 • 2011 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

### CONTENTS

#### НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

Информационное сообщение № 1 о IV Всероссийской научно-технической конференции с участием зарубежных стран и XIV Школе молодых ученых "Безопасность критичных инфраструктур и территорий", симпозиуме "Технологии безопасности критичных инфраструктур"

4

#### NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

The Information Message № 1 about IV All-Russian Conference with International Involvement and XIV School of Young Scientists "Safety of Critical Infrastructures and Territories", Seminar "Safety Technology for Critical Infrastructures"

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Клюй В. В., Манин П. А., Таранцев А. А.** Диспетчер как двухфазная система массового обслуживания

8

#### GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

**Klyui V. V., Manin P. A., Tarantsev A. A.** The Dispatcher as Two-Phase System of Mass Service

**Юдина Т. А.** Обзор международных интернет-ресурсов для решения научно-прикладных задач пожарной безопасности

13

**Yudina T. A.** International Internet Resources Survey for Decision of Theoretical and Applied Fire Safety Issues

#### ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

**Барановский Н. В., Кузнецов Г. В.** Влияние М-компонентов наземного грозового разряда на процесс зажигания лиственного дерева

15

#### COMBUSTION PROCESSES

**Baranovskiy N. V., Kuznetsov G. V.** Influence of Ground Lightning Discharge M-Components on Process of Deciduous Tree Ignition

#### ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

**Литвиненко И. В., Щербина В. С., Елагин Г. И.** Оценка пожароопасности растительного масла и лака косвенными методами

20

#### FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

**Lytvinenko I. V., Shcherbina V. S., Yelagin G. I.** The Estimation of Oil and Lacquer Fire Hazard by Indirect Methods

**Старовойтова Е. В., Галеев А. Д., Поникаров С. И.** Численный анализ процесса парообразования при кипении аварийного пролива сжиженного газа

24

**Starovoitova E. V., Galeyev A. D., Ponikarov S. I.** The Numerical Analysis of Process of Steam Formation Due to Evaporation of Accident Spill of Liquefied Gas

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

**Виноградов А. Г.** Учет вторичных воздушных потоков при математическом моделировании распыленных водяных струй

29

#### FIRE MODELING

**Vynogradov A. G.** Consideration of Secondary Air Streams at Mathematical Modelling of the Atomized Water Jets

#### ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

**Калмыков С. П.** Влияние площади и количества дымо-приемных отверстий в зависимости от расхода удаляемых продуктов горения на эффективность работы импульсной противодымной вентиляции закрытых автостоянок

34

#### FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

**Kalmykov S. P.** Influence of the Area and Quantity of the Exhaust Inlets Depending on the Expense of Deleted Products of Burning on Overall Performance Impulse Smoke Ventilation of the Enclosed Car Parks

#### БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

**Бушманов С. А.** Обеспечение безопасности людей при пожарах в зданиях посредством применения самоспасателей. Часть 1. Современные самоспасатели для защиты органов дыхания и зрения

41

#### FIRE SAFETY OF PEOPLE

**Bushmanov S. A.** Supporting Safety of People under Fires in Buildings by the Use of the Respiratory Protective Devices. Part 1. Modern Respiratory Protective Devices for Protection Respiratory and Vision

#### ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

**Захматов В. Д.** Перспективные современные разработки техники для тушения лесных пожаров

47

#### FIRE ENGINEERING

**Zahmatov V. D.** Perspective Modern Development of Fire-Fighting Technique and Novelties for Forest Fire-Fighting

#### ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

60

#### 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



## ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ № 1

Научно-инженерный центр "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН при поддержке Регионального совета по проблеме безопасности критических инфраструктур и территорий, Российского фонда фундаментальных исследований, Уральского федерального университета им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина, Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России, правительства Свердловской области, администрации г. Екатеринбурга, ЗАО "ВЕКТ" проводит с 23 по 27 мая 2011 года в г. Екатеринбурге **IV Всероссийскую научно-техническую конференцию с участием зарубежных стран, XIV Школу молодых ученых "Безопасность критических инфраструктур и территорий" и симпозиум "Технологии безопасности критических инфраструктур".**

Конференция продолжает традиции проводившихся в течение 36 лет (с 1975 года) всесоюзных (всероссийских) школ по безопасности и надежности больших систем.

Современный этап развития экономики России характеризуется как усилением существующих, так и возникновением качественных новых угроз, имеющих различную природу (в том числе связанную с климатическими аномалиями и глобальным потеплением, развитием нанотехнологий) и носящих системный характер, что резко усиливает негативные тенденции при их реализации. Отличительной чертой данной конференции является ее направленность на вопросы устойчивости функционирования систем критичных инфраструктур регионального и общероссийского масштаба, таких как единые системы транспорта нефти и нефтепродуктов, газоснабжения России, железнодорожного транспорта и т. п. Кроме того, будет рассмотрена безопасность морских объектов, связанных с освоением нефтегазовых месторождений на российском шельфе.

Предполагаются выступления по тематике конференции ведущих специалистов ОАО "Газпром", ОАО "Транснефть" и ОАО "Лукойл", ведущих зарубежных ученых. Будут рассмотрены социально-экономические угрозы, связанные с конъюнктурой мирового рынка, несбалансированностью развития отечественной системы транспорта нефти и газоснабжения.

Современный этап развития территорий и муниципальных образований РФ характеризуется быстрым развитием крупномасштабных сетей взаимозависимых критичных технико-экономических и инфраструктурных систем, а также угрозой терроризма и экологических катастроф. Оценка риска для таких систем народнохозяйственных объектов является весьма актуальной и сравнительно недавно возникшей проблемой, однако она не получила еще должного внимания отечественных ученых и специалистов в области анализа риска. В рамках конференции и школы предполагается всесторонне рассмотреть и обсудить такие новые вопросы численного анализа взаимозависимостей критичных инфраструктур (КИ), как оценка живучести (в том числе моральной) и стратегической готовности систем КИ; оценка вероятности и послед-

ствий каскадно нарастающей неработоспособности КИ, причиной которой являются взаимозависимости между крупномасштабными экономическими и инфраструктурными системами; возможные способы оптимизации управления системами КИ различной природы.

На конференции и симпозиуме будут также обсуждены современные проблемы и достижения в области анализа риска систем КИ, компьютерного моделирования и прогнозирования, минимизации последствий природных катастроф и техногенных аварий (в виде несанкционированного высвобождения массы или энергии), пути снижения рисков для населения и окружающей природной среды при существующих финансовых и ресурсных ограничениях.

Цель конференции и симпозиума – объединение и координация усилий ученых и экспертов в международном масштабе в области комплексного анализа риска КИ, механики разрушения и специалистов промышленности для решения междисциплинарных научных и практических задач обеспечения безопасности КИ территорий и муниципальных образований.

В рамках XIV школы молодые ученые и специалисты, студенты старших курсов вузов получат знания по основам теории анализа риска и ознакомятся с современными методами решения проблем в этой области, а также с последними достижениями в области удаленного доступа через Интернет к вычислительным средствам прогнозирования последствий аварий и катастроф. Участники конференции и школы будут иметь возможность узнать о современном состоянии теории и практики применения концепции и методологии анализа риска для решения разнообразных задач обеспечения безопасности и качества жизни, встретиться с коллегами и обсудить свои проблемы, выступить с сообщением и принять участие в дискуссии.

Представители промышленности и заинтересованных организаций также получат возможность встретиться и обсудить свои проблемы с отечественными и зарубежными учеными-специалистами и экспертами мирового уровня в области анализа риска критичных инфраструктур и территорий, выступить с сообщением и участвовать в дискуссии.

Лучшие работы, связанные с проблемами пожаро-взрывобезопасности, будут опубликованы в журнале "Пожаровзрывобезопасность". 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". Правила оформления статей представлены на сайте журнала [www.firepress.ru](http://www.firepress.ru).

## СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

### Сопредседатели:

**Махутов Н. А.**, член-корр. РАН, зам. академика-секретаря отделения ЭММиПУ РАН

**Тимашев С. А.**, д-р техн. наук, проф., директор Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН

**Кокшаров В. А.**, ректор Уральского федерального университета им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина

**Миронов М. П.**, канд. соц. наук, генерал-майор вн. службы, действительный член Национальной академии наук пожарной безопасности, начальник Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России

### Члены:

**Акимов В. А.**, д-р техн. наук, проф., ВНИИ ГОЧС МЧС России

**Алёхин В. Н.**, проф., декан строительного факультета УрФУ

**Барбин Н. М.**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой УрИ ГПС МЧС России

**Быков А. А.**, д-р физ.-мат. наук, проф., гл. науч. сотр. центра "Анализ рисков управления промышленной безопасностью и гражданской защитой" ООО "Газпром ВНИИГАЗ"

**Жуковский М. В.**, д-р техн. наук, директор Института промышленной экологии УрО РАН

**Калач А. В.**, канд. хим. наук, доцент, зам. начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС России

**Колодкин В. М.**, д-р техн. наук, проф., директор Института гражданской защиты Удмуртского государственного университета

**Корнилов С. В.**, д-р техн. наук, проф., директор ИГД УрО РАН

**Ларионов В. И.**, д-р техн. наук, проф. ИПГ РАН, зам. директора ЦИЭКС

**Лесных В. В.**, д-р техн. наук, проф., зам. директора Центра "Управление системными рисками и устойчивостью ЕСГ России" ООО "ВНИИГАЗ"

**Липанов А. М.**, д-р техн. наук, академик РАН, председатель Удмуртского НЦ УрО РАН

**Мартышко П. С.**, д-р физ.-мат. наук, член-корр. РАН, директор Института геофизики УрО РАН

**Матвеенко В. П.**, д-р физ.-мат. наук, академик РАН, председатель Пермского НЦ УрО РАН

**Москвичев В. В.**, д-р техн. наук, проф., зам. директора ИВМ СО РАН

**Одиноков В. И.**, д-р техн. наук, проф., директор ИММ ДВО РАН

**Попов А. А.**, д-р техн. наук, проф., проректор по науке УрФУ, академик АИИ РФ

**Татаркин А. И.**, д-р экон. наук, академик РАН, директор ИЭ УрО РАН

**Чернявский О. Ф.**, д-р техн. наук, проф., академик АПК РФ, зав. отделом НИЦ "НиР БСМ" УрО РАН

**Чукреев И. Я.**, д-р техн. наук, директор ИПС УрО РАН

**Цыбульский П. Г.**, канд. техн. наук, генеральный директор ООО "Газпром ВНИИГАЗ"

**Яковлев В. Л.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, советник РАН

**Hopkins Phil**, PhD, Professor, University of Newcastle, Great Britain

**Krimgold Fred**, PhD, Professor, Virginia Tech, USA

**Proctor John**, PhD, Full Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Washington Academy of Science, USA

## РАБОЧИЙ ОРГКОМИТЕТ

**Полуян Л. В.**, канд. техн. наук, зам. директора по научной работе НИЦ "НиР БСМ" УрО РАН (председатель)

**Гурьев Е. С.**, канд. техн. наук, ученый секретарь НИЦ "НиР БСМ" УрО РАН (зам. председателя)

### Члены:

**От НИЦ УрО РАН:** Тырсин А. Н., д-р техн. наук, вед. науч. сотр.; Биканова И. В., гл. бухг.; Тарапасенко Т. Д., вед. инж.; Суворова А. П., нач. ОК; Ковальчук Т. Г., инж.; Шалашова Н. В., инж.; Серебрякова М. И., инж.

**От УрИ ГПС МЧС России:** Орлов С. А., канд. техн. наук, доц., чл.-корр. ВАН КБ, зам. начальника института; Алексеев С. Г., канд. хим. наук, доц., чл.-корр. ВАН КБ, начальник отдела; Галоненко Л. Б., канд. полит. наук, ст. науч. сотр.; Соколова Л. М., науч. сотр.; Попов А. В., науч. сотр.; Бруева М. И., ст. ред.; Животинская Л. О., ред.

**От ЗАО ВЕКТ:** Никулина И. Г., вед. инж.; Порошина М. А., вед. инж.

**От УрФУ:** Григорьев Ю. О., канд. техн. наук, доцент, зам. декана по научной работе; Антипин А. А., канд. техн. наук, доцент

## **НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **Методологические аспекты теории рисков**

- Анализ состояний критичных инфраструктур и их систем
- Исследование взаимозависимости систем критичных инфраструктур
- Методы обеспечения живучести критичных инфраструктур
- Методы оценки рисков (индивидуальных, коллективных, социальных и территориальных)
- Методы оценки живучести и стратегической готовности систем критичных инфраструктур
- Способы количественной оценки последствий (ущерба) аварий и катастроф, в том числе в условиях недостатка или неопределенности исходной информации
- Подходы к оценке цены жизни, травматизма
- Риск и страхование
- Менеджмент критичных инфраструктур по критерию риска
- Методы нормирования рисков – отраслевых, региональных, государственных
- Риск и качество жизни

### **Математические модели техногенных и природных катастроф**

- Механика разрушения и оценка вероятности инициирующих аварию событий
- Математические модели техногенных и природных катастроф
- Методы прогнозирования природных катастроф
- Методы прогнозирования техногенных и природно-техногенных аварий
- Зацепляющиеся и каскадные катастрофы
- Применение ГИС и GPS-технологий при анализе рисков
- Модели антропогенных угроз для территорий
- Прогнозирование природных и техногенных рисков
- Устойчивость функционирования макросистем
- Энтропийный подход к оценке качества функционирования КИ

### **Вопросы минимизации последствий аварий и катастроф**

- Методология менеджмента рисков
- Моделирование влияния человеческих ошибок и преднамеренных действий на вероятность аварии и катастрофы
- Средства и методы минимизации последствий техногенной аварии
- Компьютерное моделирование аварий и катастроф
- Оценка влияния средств защиты на риск эксплуатации

### **Вопросы обеспечения пожарной и промышленной безопасности**

- Научные и технические проблемы пожарной безопасности

- Гуманитарные и правовые аспекты пожарной безопасности
- Защита от техногенных и природных угроз, экологическая безопасность
- Обеспечение пожаровзрывобезопасности объектов

### **Практические аспекты анализа риска, составления деклараций и паспортов безопасности**

- Практика применения методологии риска в различных странах
- Компьютерные программы расчета рисков и их применение на практике
- Средства защиты критичных инфраструктур

### **Прогнозирование развития методологии анализа риска и смежные вопросы**

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ВЗНОС**

**Размер организационного взноса, включая НДС:** 1000 руб. (1200 руб. – после 20.04.2011 г.); для студентов и аспирантов – 300 руб.; заочное участие (публикация тезисов, почтовые расходы по пересылке сборника тезисов) – 500 руб.

Оплату производить не ранее 01.03.2011 г.

**Назначение оргвзноса:** технические мероприятия по обслуживанию участия в конференции, публикация тезисов и выпуск диска с материалами конференции.

Оргвзнос перечислять с указанием “Оргвзнос за участие в конференции (Ф. И. О.)” на счет:

**ИНН 6660012356 КПП 666001001 УФК по Свердловской области (НИЦ “Нир БСМ” УрО РАН л/сч. 03621050520), р/сч. 40503810400001000060 ГРКЦ ГУ Банка России по Свердловской обл. г. Екатеринбург, БИК 046577001 (к/сч нет).**

В назначении платежа указать:

(48630201010010000130) п. 7 разреш. Оргвзнос за участие в конференции (Школе) (Ф. И. О.)

## **КОНТРОЛЬНЫЕ СРОКИ**

Заявка на участие (регистрация 1)	20.04.2011
Прием тезисов и материалов докладов до	20.04.2011
Подтверждение участником прибытия на конференцию, заявка на бронирование гостиницы (регистрация 2)	20.04.2011
Прибытие на конференцию	23.05.2011
Рабочие дни конференции, школы и симпозиума	24–27.05.2011
Отъезд	28.05.2011

## КОНТАКТЫ

**По научным и техническим вопросам конференции обращаться:**

620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а, НИЦ "НиР БСМ" УрО РАН

**Оргкомитет конференции:**

**Полуян Людмила Владимировна:**

тел. 8-912-253-45-03, тел./факс (343) 374-16-82

**Гурьев Евгений Сергеевич:**

тел. 8-912-283-60-63,

тел./факс (343) 374-16-82

**Тырсин Александр Николаевич:**

тел. 8-909-743-22-27,

тел./факс (343) 374-16-82

e-mail: org@wekt.ru

**По вопросам опубликования тезисов и докладов конференции обращаться:**

**Гурьев Евгений Сергеевич:**

тел. (343) 374-16-82, 374-05-33,

e-mail: org@wekt.ru

**По вопросам опубликования в журнале "Пожаровзрывобезопасность":**

**Алексеев Сергей Геннадьевич:**

тел: (343) 360-81-13, 8-922-602-13-35,

e-mail: Alexshome@mail.ru

**Барбин Николай Михайлович:**

тел: (343) 360-80-65, 8-922-222-78-11,

e-mail: NNBarbin@uralweb.ru

**По вопросам сайта и регистрации на конференцию обращаться:**

**Гурьев Евгений Сергеевич:**

тел. (343) 374-05-33, e-mail: org@wekt.ru

**По вопросам бронирования гостиницы обращаться:**

**Биканова Ирина Васильевна:**

тел./факс (343) 374-05-33, e-mail: org@wekt.ru

## МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России.

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина.

## РЕГИСТРАЦИЯ

Регистрация участников конференции производится в режиме on-line на сайте конференции: <http://conf.uran.ru/Default.aspx?cid=safety>.

Тезисы и доклады дублировать электронной почтой по адресу: org@wekt.ru.

**В. В. Клюй**

канд. пед. наук, начальник кафедры  
Санкт-Петербургского университета ГПС  
МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия

**П. А. Манин**

аспирант Санкт-Петербургского  
университета ГПС МЧС России,  
г. Санкт-Петербург, Россия

**А. А. Таранцев**

д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия

УДК 614.81

## ДИСПЕТЧЕР КАК ДВУХФАЗНАЯ СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассмотрена модель работы диспетчера, обслуживающего заявки в две фазы, как одноканальной системы массового обслуживания. Получены аналитические выражения для оценки вероятностей состояний и характеристик такой системы. Проведены расчеты для случаев различной и одинаковой длительности фаз.

**Ключевые слова:** диспетчер; экстренные службы; обслуживание сообщений.

### Вводная часть

Важнейшим звеном экстренных служб (“01” “02”, “03”...) является диспетчер — человек, который принимает сообщения, формирует и проводит в жизнь соответствующие управленческие решения [1]. Для рационального проектирования таких служб необходимо иметь адекватную математическую модель деятельности диспетчера, для чего может применяться аппарат теории массового обслуживания [2, 3]. Диспетчер представляется, как правило, в виде стандартной одноканальной системы массового обслуживания (СМО), в которую поступает простейший поток заявок с частотой  $\lambda$ , а время обслуживания заявки случайно и распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu$ . В кендалловском обозначении это  $M/M/1/m$  ( $m$  — число мест в очереди, в данном случае число линий связи +1), в обозначениях [3] —  $Ek_{\lambda} \backslash Ek_{\mu} \backslash m$ .

Тем не менее такое математическое описание работы диспетчера является весьма упрощенным, поскольку в действительности он обслуживает заявку (звонок, сообщение, вызов) в две фазы: сначала принимает и уточняет информацию, затем формирует управленческое решение и доводит его до исполнителя.

### Математическая модель работы диспетчера

Основными характеристиками работы диспетчера принято считать:

- вероятность отказа в приеме заявки  $p_{\text{отк}}$ ;

- среднее время ожидания заявки в очереди  $t_{\text{ож}}$ ;
- длину очереди  $m_{\text{ож}}$  (по формуле Литтла  $m_{\text{ож}} = \lambda t_{\text{ож}}$ );
- нагрузку на диспетчера  $\alpha$  ( $\alpha = \lambda/\mu$ );
- вероятность немедленного реагирования  $p_h$  (т. е. очередь нет, заявка принимается диспетчером сразу).

К некоторым характеристикам предъявляются достаточно жесткие требования:  $p_{\text{отк}} \leq 0,001$  (т. е. 0,1 %) [4, 5];  $t_{\text{ож}} \leq 10$  с [5];  $\alpha < 0,3 \div 0,7$  [5], что позволяет обоснованно выбрать число диспетчеров и линий связи, а также скорость обслуживания  $\mu$  [1].

Уточненную двухфазную модель работы диспетчера с этими же характеристиками целесообразно строить, основываясь на общепринятых допущениях: поток заявок простейший с частотой  $\lambda$ ; длительности каждой фазы обслуживания распределены по экспоненциальным законам с параметрами  $\mu_1$  и  $\mu_2$  соответственно ( $\mu_1 = t_1^{-1}$ ,  $\mu_2 = t_2^{-1}$ , где  $t_1$  и  $t_2$  — средние длительности 1-й и 2-й фаз соответственно); очередь организована по принципу FIFO (раньше пришел, раньше обслужился), приоритетных заявок нет; процесс приема-обслуживания заявок установленный.

Такая двухфазная одноканальная СМО (в обозначениях работы [3] —  $Ek_{\lambda} \backslash^1 Be_{\mu, \mu_2} \backslash m$ ) может пребывать в  $2m + 3$  состояниях:  $S_0$  — диспетчер (он же канал обслуживания) свободен, заявок нет;  $S_1$  — диспетчер обслуживает пришедшую заявку (звонок абонента) в 1-й фазе (принимает и уточняет ин-

© Клюй В. В., Манин П. А., Таранцев А. А., 2011

формацию), очереди нет;  $S_2$  — диспетчер обслуживает пришедшую заявку во 2-й фазе (формирует управленческое решение и доводит его до исполнителя, в случае ГПС — на пункт связи пожарной части), в очереди заявок нет;  $S_3$  — диспетчер обслуживает пришедшую заявку в 1-й фазе, в очереди 1 заявка;  $S_4$  — диспетчер обслуживает пришедшую заявку во 2-й фазе, в очереди 1 заявка; ...  $S_{2m+1}$  — диспетчер обслуживает пришедшую заявку в 1-й фазе, в очереди  $m$  заявок;  $S_{2m+2}$  — диспетчер обслуживает пришедшую заявку во 2-й фазе, в очереди  $m$  заявок. Когда СМО находится в состояниях  $S_{2m+1}$  и  $S_{2m+2}$ , новая заявка не может быть принята по причине переполнения очереди (занят диспетчер и все линии связи) и получает отказ. Граф переходов для такой СМО приведен на рисунке.

Каждому из состояний  $S_i$  ( $i = 0, \dots, 2m + 2$ ) соответствует вероятность  $p_i$ , которая при  $m > 0$  может быть найдена из системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} 0 = -\lambda p_0 + \mu_2 p_2; \\ 0 = \lambda p_0 - (\lambda + \mu_1) p_1 + \mu_2 p_4; \\ 0 = \mu_1 p_1 - (\lambda + \mu_2) p_2; \\ 0 = \lambda p_{2j-1} - (\lambda + \mu_1) p_{2j+1} + \\ \quad + k \mu_2 p_{2j+4}; \\ 0 = \lambda p_{2j} + \mu_1 p_{2j+1} - \\ \quad - (\lambda + \mu_2) p_{2j+2}, \end{array} \right\} j = 1, \dots, m; \quad (1)$$

где  $k = 1$  при  $j < m$ ;  $k = 0$  при  $j = m$ .

В частном случае, когда  $m = 0$  (т. е. один диспетчер и одна линия связи), система уравнений приводится к виду:

$$\left. \begin{array}{l} 0 = -\lambda p_0 + \mu_2 p_2; \\ 0 = \lambda p_0 - \mu_1 p_1; \\ 0 = \mu_1 p_1 - \mu_2 p_2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

и имеет простое решение:

$$\left. \begin{array}{l} p_0^{-1} = 1 + a_1 + a_2; \\ p_1 = a_1 p_0; \\ p_2 = a_2 p_0, \end{array} \right\} \quad (3)$$

где  $a_1, a_2$  — нагрузки по фазам;  $a_1 = \lambda/\mu_1$ ;  $a_2 = \lambda/\mu_2$ .

На практике используют обобщенные вероятности:

$P_1$  — вероятность того, что заявка обслуживается, в очереди заявок нет;  $P_1 = p_1 + p_2$ ;

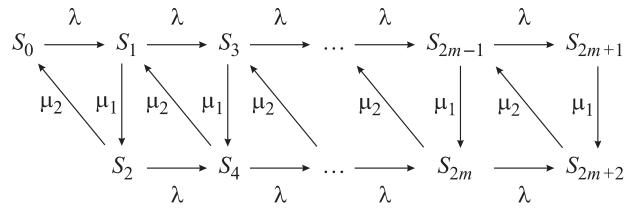
$P_2$  — вероятность того, что заявка обслуживается, еще одна заявка в очереди;  $P_2 = p_3 + p_4$ ;

...

$P_{m+1}$  — вероятность того, что заявка обслуживается,  $m$  заявок в очереди, новая заявка получает отказ в приеме;  $P_{m+1} = p_{2m+1} + p_{2m+2}$ .

Интересно отметить, что между вероятностями  $\{P\}$  и  $\{p\}$  имеет место соотношение

$$a_2 P_i = p_{2i+2}, \quad i = 1, \dots, m + 1. \quad (4)$$



Граф переходов для одноканальной незамкнутой СМО с двухфазным обслуживанием

Характеристики рассматриваемой СМО имеют вид, подобный выражениям для стандартной одноканальной СМО [3]:

$$p_n = p_0; \quad (5)$$

$$p_{\text{отк}} = P_{m+1} = p_{2m+1} + p_{2m+2}; \quad (6)$$

$$t_{\text{ож}} = \mu_1^{-1} \sum_{i=1}^m i p_{2i-1} + \mu_2^{-1} \sum_{i=1}^m i p_{2i}; \quad (7)$$

$$m_{\text{ож}} = \sum_{j=1}^m j P_{j+1} = \sum_{j=1}^m j(p_{2j+1} + p_{2j+2}); \quad (8)$$

$$\alpha = a_1 + a_2 = \lambda(\mu_1^{-1} + \mu_2^{-1}). \quad (9)$$

Время ожидания можно оценить по выражению, как для стандартной СМО [2]:

$$t_{\text{ож}} \approx (\mu_1^{-1} + \mu_2^{-1}) \sum_{i=1}^m i P_i. \quad (10)$$

Аналитическое решение системы уравнений (1) представляет значительную трудность, тем не менее оно было получено авторами и для обобщенных вероятностей имеет вид:

$$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^{m-1} \alpha^i + \alpha A^{m-2} [A^2 + \alpha - (m-2) a_1 a_2]; \quad (11)$$

$$P_i = p_0 \left[ A^i \sum_{j=0}^{\Pi(i/2)} (-a_1 a_2)^j C_{i-j}^j A^{-2j} \right], \quad i = 1, \dots, m; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} p_{\text{отк}} = P_{m+1} = p_0 \left[ A^{m+1} \times \right. \\ \left. \times \sum_{j=0}^{\Pi(m/2)+1} (-a_1 a_2)^j (C_{m-j+1}^{j-1} A + C_{m-j+1}^j) A^{-2j} \right], \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\Pi(x)$  — целая часть числа  $x$  (например:  $\Pi(0) = \Pi(0,5) = 0$ ;  $\Pi(1,8) = 1$ ;  $\Pi(9,2) = 9$  и т. п.);

$$A = \alpha + a_1 a_2 = a_1 + a_2 + a_1 a_2;$$

$$C_n^k = \begin{cases} 0 & \text{при } n < k \text{ или } k < 0; \\ \prod_{j=1}^{n-k} (1 + kj^{-1}) & \text{при } k < n; \\ 1 & \text{при } k = 0 \text{ или } k = n. \end{cases}$$

Нетрудно убедиться, что при отсутствии какой-либо фазы (например, 2-й —  $a_2 \rightarrow 0$ , тогда  $A = \alpha = \lambda/\mu_1$ ) рассматриваемая СМО превращается в стандартную  $E_{\lambda} \setminus E_{\mu_1} \setminus m$ , а выражения (11) – (13) приводятся к известному виду [2]:

$$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^{m-1} \alpha^i + \alpha \cdot \alpha^{m-2} (\alpha^2 + \alpha) = \sum_{i=0}^{m+1} \alpha^i; \quad (14)$$

$$P_i = p_0 \alpha^i, \quad i = 1, \dots, m; \quad (15)$$

$$p_{\text{отк}} = p_0 \alpha^{m+1}. \quad (16)$$

Для другого крайнего случая, когда фазы одинаковы:  $a_1 = a_2 = a$ , тогда  $A = 2a + a^2$  и выражения (11) – (13) приводятся к другому известному виду [3]:

$$\begin{aligned} p_0^{-1} &= \sum_{i=0}^{m-1} (2a)^i + 2a^m (2+a)^{m-2} \times \\ &\times [2(2a+1)(a+1) + a(a^2 - m)]; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} P_i &= p_0 \sum_{j=0}^{\lfloor i/2 \rfloor} (-1)^j C_{i-j}^j (2a + a^2)^{i-2j}, \\ &i = 1, \dots, m; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} p_{\text{отк}} &= p_0 a^{m+1} \sum_{j=0}^{\lfloor (m/2) + 1 \rfloor} (-1)^j \times \\ &\times [C_{m-j+1}^{j-1} a (2+a) + C_{m-j+1}^j] (2+a)^{m-2j+1}. \end{aligned} \quad (19)$$

В случае неограниченной очереди ( $m \rightarrow \infty$ ) при  $A < 0$  выражения (10) и (12) принимают вид, характерный для такой же стандартной СМО [2, 3]:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} p_0 = 1 - \alpha; \quad (20)$$

$$\lim_{m \rightarrow \infty} p_{\text{отк}} = 0. \quad (21)$$

Справедливость выражений (11) – (13) целесообразно показать на примере.

### Пример оценки характеристик работы диспетчера

**Пример 1.** Пусть к диспетчеру по пяти линиям связи ( $m = 4$ ) поступает простейший поток заявок с частотой 6 заявок в час ( $\lambda = 0,1 \text{ мин}^{-1}$ ), причем обслуживание заявки складывается из двух этапов: сначала он принимает и уточняет информацию, а затем формирует решение и доводит его до исполнителей. Известно, что продолжительность обоих этапов случайна и распределена по экспоненциальному закону с параметрами  $\mu_1 = 0,3333 \text{ мин}^{-1}$  и  $\mu_2 = 0,5 \text{ мин}^{-1}$  соответственно. Поскольку диспетчер с линиями связи представляет собой СМО вида  $E_{0,1} \setminus E_{0,3333; 0,5} \setminus 4$  в обозначениях [3], требуется определить ее характеристики.

Такая СМО, как следует из вышеприведенного материала, может пребывать в 11 состояниях  $S_0 \rightarrow S_{10}$ .

Система уравнений (1) для определения вероятностей ее состояний принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= -0,1p_0 + 0,5p_2; \\ 0 &= 0,1p_0 - 0,4333p_1 + 0,5p_4; \\ 0 &= 0,3333p_1 - 0,6p_2; \\ 0 &= 0,1p_1 - 0,4333p_3 + 0,5p_6; \\ 0 &= 0,1p_2 + 0,3333p_3 - 0,6p_4; \\ 0 &= 0,1p_3 - 0,4333p_5 + 0,5p_8; \\ 0 &= 0,1p_4 + 0,3333p_5 - 0,6p_6; \\ 0 &= 0,1p_5 - 0,4333p_7 + 0,5p_{10}; \\ 0 &= 0,1p_6 + 0,3333p_7 - 0,6p_8; \\ 0 &= 0,1p_7 - 0,3333p_9; \\ 0 &= 0,1p_8 + 0,3333p_9 - 0,5p_{10}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Система линейных алгебраических уравнений (22) при условии  $p_0 + p_1 + \dots + p_{10} = 1$  была решена численными методами, в результате чего получены следующие значения вероятностей состояний:  $p_0 = p_{\text{н}} = 0,504094; p_1 = 0,181506; p_2 = 0,100787; p_3 = 0,071352; p_4 = 0,056486; p_5 = 0,029084; p_6 = 0,025568; p_7 = 0,012004; p_8 = 0,010931; p_9 = 0,003601; p_{10} = 0,004587$ . Тогда обобщенные вероятности состояний будут следующими:  $P_1 = 0,282293; P_2 = 0,127838; P_3 = 0,054652; P_4 = 0,022935; P_5 = 0,008188$ . Нетрудно проверить, что условие (4) выполняется.

Теперь решим эту же задачу уже не численным методом, требующим привлечения компьютерной техники, а аналитически. В соответствии с исходными данными нагрузки будут следующими:  $a_1 = 0,1/0,3333 = 0,3; a_2 = 0,1/0,5 = 0,2; \alpha = 0,3 + 0,2 = 0,5; A = 0,5 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,56$ . По выражениям (11) – (13) получаем:

$$\begin{aligned} p_0^{-1} &= 1 + 0,5 + 0,25 + 0,125 + \\ &+ 0,5 \cdot 0,56^2 \cdot (0,56^2 + 0,5 - 2 \cdot 0,06) = 1,983756; \\ p_0 &= p_{\text{н}} = 0,504094; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= p_0 A \sum_{j=0}^0 (-a_1 a_2)^j C_{1-j}^j A^{-2j} = \\ &= p_0 A (-a_1 a_2)^0 C_1^0 A^{-0} = p_0 A = \\ &= 0,504094 \cdot 0,56 = 0,282293; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= p_0 A^2 (1 - a_1 a_2 C_1^1 A^{-2}) = \\ &= 0,504094 \cdot 0,56^2 \cdot (1 - 0,06 \cdot 1 \cdot 0,56^{-2}) = 0,127838; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= p_0 A^3 (1 - a_1 a_2 C_2^1 A^{-2}) = \\ &= 0,504094 \cdot 0,56^3 \cdot (1 - 0,06 \cdot 2 \cdot 0,56^{-2}) = 0,054652; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4 &= p_0 A^4 [1 - a_1 a_2 C_3^1 A^{-2} + (a_1 a_2)^2 C_2^2 A^{-4}] = \\ &= 0,504094 \cdot 0,56^4 \cdot (1 - 0,06 \cdot 3 \cdot 0,56^{-2} + \\ &+ 0,06^2 \cdot 1 \cdot 0,56^{-4}) = 0,022935; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{\text{отк}} &= P_5 = p_0 A^5 [1 - a_1 a_2 (C_4^0 A + C_4^1 A^{-2}) + \\ &+ (a_1 a_2)^2 (C_3^1 A + C_3^2 A^{-4}) - (a_1 a_2)^3 \times \\ &\times (C_2^2 A + C_2^3 A^{-6})] = 0,504094 \cdot 0,56^5 \cdot [1 - 0,06 \times \\ &\times (1 \cdot 0,56 + 4) \cdot 0,56^{-2} + 0,06^2 \cdot (3 \cdot 0,56 + 3) \cdot 0,56^{-4} - \\ &- 0,06^3 \cdot (1 \cdot 0,56 + 0) \cdot 0,56^{-6}] = 0,008188. \end{aligned}$$

В обоих случаях получены одинаковые значения вероятностей. Основные характеристики такой СМО согласно (5) – (9) будут следующими:  $p_h = 0,504094$ ;  $p_{отк} = 0,008188$ ;  $t_{ож} = \mu_1^{-1}(p_1 + 2p_3 + 3p_5 + 4p_7) + \mu_2^{-1}(p_2 + 2p_4 + 3p_6 + 4p_8) = 3 \cdot (0,181506 + 2 \times 0,071352 + 3 \cdot 0,029084 + 4 \cdot 0,012004) + 2 \cdot (0,100787 + 2 \cdot 0,056486 + 3 \cdot 0,025568 + 4 \cdot 0,010931) = 2,0468 \text{ мин}$ ;  $m_{оq} = P_2 + 2P_3 + 3P_4 + 4P_5 = 0,127838 + 2 \cdot 0,054652 + 3 \cdot 0,022935 + 4 \cdot 0,008188 = 0,3387$ ;  $\alpha = 0,5$ . Время ожидания оценим также по выражению (10):  $t_{ож} \approx \approx (3+2) \cdot (0,282293 + 2 \cdot 0,127838 + 3 \cdot 0,054652 + 4 \times 0,022935) = 3,968 \text{ мин}$ .

Интерес представляет также оценка характеристик аналогичной стандартной СМО  $Ek_{0,1} \setminus 1 E k_{0,2} \setminus 4$  при той же приведенной нагрузке  $\alpha = 0,5$ . По выражениям (14) – (16) получаем:

$$\begin{aligned} p_0^{-1} &= 1 + 0,5 + 0,25 + 0,125 + 0,0625 + 0,03125 = \\ &= 1,96875; \quad p_0 = p_h = 0,50794; \\ P_1 &= 0,50794 \cdot 0,5 = 0,25397; \\ P_2 &= 0,50794 \cdot 0,25 = 0,12698; \\ P_3 &= 0,50794 \cdot 0,125 = 0,06349; \\ P_4 &= 0,50794 \cdot 0,0625 = 0,03175; \\ P_{отк} &= P_5 = 0,50794 \cdot 0,03125 = 0,01587. \end{aligned}$$

Длину очереди оценим по 1-й части выражения (8):

$$\begin{aligned} m_{оq} &= 0,12698 + 2 \cdot 0,06349 + 3 \cdot 0,03175 + \\ &+ 4 \cdot 0,01587 = 0,4127. \end{aligned}$$

Время ожидания найдем с использованием формулы Литтла:

$$t_{ож} = 0,4127 / 0,1 = 4,127 \text{ мин.}$$

Как видим, при такой нагрузке диспетчер (как двухфазная СМО или ее однофазный аналог) не в состоянии уложиться в требования по обеспечению допустимой вероятности отказа в приеме заявки, времени ожидания и вероятности немедленного реагирования. Причем характеристики, рассчитанные по выражениям для стандартной СМО при той же приведенной нагрузке и том же числе линий связи, оказываются “жестче”, чем для двухфазной СМО.

**Пример 2.** Условия те же, что и в предыдущем примере, но длительность обеих фаз обслуживания одинакова и составляет 1 мин ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 1 \text{ мин}^{-1}$ ), т. е. закон обслуживания эрланговский 2-го порядка, а СМО имеет вид:  $Ek_{0,1} \setminus 1 Er_{2,1} \setminus 4$ .

Воспользуемся выражениями (17) – (19), полагая  $a = 0,1$  и  $\alpha = 2a = 0,2$ :

$$\begin{aligned} p_0^{-1} &= 1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3 + 2a^4(2 + a)^2[2(\alpha + 1)(a + 1) + \\ &+ a(a^2 - 4)] = 1 + 0,2 + 0,04 + 0,008 + 2 \cdot 0,1^4 \cdot 2 \cdot 1^2 \times \\ &\times [2 \cdot 1, 2 \cdot 1, 1 + 0,1(0,01 - 4)] = 1,249977; \end{aligned}$$

$$p_0 = 0,800015;$$

$$P_1 = p_0 C_1^0 (\alpha + a^2) \approx 0,8 \cdot 1 \cdot (0,2 + 0,01) = 0,168003;$$

$$\begin{aligned} P_2 &= p_0 [C_2^0 (\alpha + a^2)^2 - C_1^1 (\alpha + a^2)^0 a^2] \approx \\ &\approx 0,8 \cdot (1 \cdot 0,21^2 - 1 \cdot 1 \cdot 0,01) = 0,027281; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= p_0 [C_3^0 (\alpha + a^2)^3 - C_2^1 (\alpha + a^2)^1 a^2] \approx \\ &\approx 0,8 \cdot (1 \cdot 0,21^3 - 2 \cdot 0,21 \cdot 0,01) = 0,004049; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4 &= p_0 [C_4^0 (\alpha + a^2)^4 - C_3^1 (\alpha + a^2)^2 a^2 + \\ &+ C_2^2 (\alpha + a^2)^0 a^4] \approx 0,8 \cdot (1 \cdot 0,21^4 - \\ &- 3 \cdot 0,21^2 \cdot 0,01 + 1 \cdot 1 \cdot 0,1^4) = 0,000577; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_5 &= p_{отк} = p_0 [C_5^0 (\alpha + a^2)^5 - C_4^1 (\alpha + a^2)^3 a^2 + \\ &+ C_3^2 (\alpha + a^2)^0 a^4] \approx 0,8 \cdot (1 \cdot 0,21^5 - 4 \cdot 0,21^3 \cdot 0,01 + \\ &+ 3 \cdot 0,21 \cdot 0,1^4) = 0,000155. \end{aligned}$$

Средняя длина очереди и время ожидания составят:  $m_{оq} = 0,03773$ ;  $t_{ож} = 0,237 \text{ мин} = 14,22 \text{ с.}$

Таким образом, при данной нагрузке диспетчер укладывается в допустимую вероятность отказа в приеме заявки, но среднее время ожидания заявки к приему слегка превышается.

Представляется интересным сравнить рассмотренную СМО со стандартной  $Ek_{0,1} \setminus 1 E k_{0,2} \setminus 4$ . Для нее согласно (14) – (16) получаем:  $p_0 = p_h = 0,800512$ ;  $P_1 = 0,160010$ ;  $P_2 = 0,032002$ ;  $P_3 = 0,00640$ ;  $P_4 = 0,001280$ ;  $p_{отк} = P_5 = 0,000256$ . Тогда  $m_{оq} = 0,0459$ ;  $t_{ож} = 0,459 \text{ мин} = 27,54 \text{ с.}$

## Выводы

Таким образом, получены точные аналитические выражения для расчета характеристик работы диспетчера, обслуживающего заявки в две фазы. При этом могут быть определены рациональное число линий связи в диспетчерских пунктах и скорости обслуживания. В то же время показано, что для упрощенных оценок могут быть использованы известные выражения для стандартных одноканальных СМО с очередью.

В дальнейшем интересно было бы рассмотреть трехфазную одноканальную СМО как аналог караула пожарной части, который при поступлении вызова действует по схеме: следование на пожар – тушение пожара – возвращение в часть.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артамонов В. С., Логорельская К. В., Таранцев А. А. Методика определения рационального числа операторов и линий связи ЦУС ФПС // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 4–9.

2. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М. : Сов. радио, 1972.
3. Таранцев А. А. Инженерные методы массового обслуживания. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб. : Наука, 2007.
4. РД 45.120-2000 (НТП 112-2000). Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети : утв. Минсвязи России 12 октября 2000 г. : введ. в действие 12 октября 2000 г. — М. : ЦНТИ «Информсвязь», 2000.
5. Шаровар Ф. И. Автоматизированные системы управления и связь в пожарной охране / ВИПТШ МВД СССР. — М. : Радио и связь, 1987.

*Материал поступил в редакцию 7 октября 2010 г.  
Электронный адрес авторов: t\_54@mail.ru.*

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

**Учебное пособие**

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

**Обеспечение  
пожарной безопасности  
электроустановок**



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

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



**Web-сайт: firepress.ru**

**Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat\_pozhnauka@mail.ru**

**Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 737-65-74**



**Т. А. Юдина**

редактор АНО “Научно-практический центр  
“Пожарная безопасность”, г. Москва, Россия

УДК 614.8.013

## ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНЫХ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Доступ к результатам современных научно-прикладных исследований является необходимым условием профессионального развития и повышения квалификации специалистов в области пожарной безопасности. Львиная доля работ сегодня публикуется на английском языке, который стал ведущим средством коммуникации в мировом научном сообществе. Однако языковой барьер мешает многим специалистам своевременно получать необходимую информацию. Да и тем, кто владеет английским языком, трудно оставаться в курсе последних новостей из-за обилия источников информации. С целью помочь практикам, аспирантам и альянктам, ученым и руководителям организаций ориентироваться в этом “море” информации редакторами АНО НПЦ “Пожарная безопасность” организована подготовка обзоров зарубежных государственных и общественных программ, результатов научных исследований таких организаций, как NFPA, NIST, IAFSS и др., журнальных публикаций в ведущих мировых изданиях.

**Ключевые слова:** обзор интернет-ресурсов; профессиональное развитие; публикации.

По статистике слово “пожар” фигурирует в запросах российских поисковых систем около 1 млн раз в месяц. Это связано, во-первых, с общим ростом числа пользователей сети Интернет: к концу 2010 г. их число превысило 60 млн человек в России и 2 млрд человек в мире. По данным ВЦИОМ почти каждый третий россиянин является пользователем сети Интернет, и 49 % из них с помощью Интернета получают необходимую информацию и расширяют кругозор. С этой целью используются сервера предприятий и организаций, новостные и информационные порталы, электронные библиотеки документов, “домашние” страницы пользователей сети, файловые архивы, сетевые базы данных.

Подавляющее большинство коммерческих организаций, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности (которых насчитывается сегодня уже десятки тысяч), используют Интернет для рекламы своих услуг; их интернет-представительства носят статус “сайтов-визиток”. Сайты официальных организаций, безусловно, более информативны. Особенно интересны официальные сайты МЧС России, Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны, Академии Государственной противопожарной службы, Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России и некоторые другие. Однако следует заметить, что в силу специфики работы этих организаций основной

информацией на этих сайтах являются новости законодательства, официальные данные о деятельности службы и информация для граждан. Исключением являются лишь сайты некоторых пожарно-технических журналов, с которыми можно поработать через Интернет: “Пожаровзрывобезопасность” (изд-во “Пожнаука”), “Пожарная безопасность” (ФГУ ВНИИПО МЧС России), “Технологии техносферной безопасности” (АГПС МЧС России), форумы для общения профессионального сообщества и тематические сайты, поддерживаемые энтузиастами своего дела.

Однако отечественным специалистам достаточно сложно найти для анализа информацию о зарубежных правительственные и общественные программах, государственной политике в сфере пожарной безопасности, результатах передовых научно-прикладных исследований, так как она рассредоточена по многим сайтам. Для того чтобы сделать эту актуальную информацию более доступной, редакторы АНО НПЦ “Пожарная безопасность” готовят обзоры журнальных публикаций, результатов научных исследований таких организаций, как NFPA (Национальная ассоциация пожарной безопасности), NIST (Национальный институт стандартов и технологий), IAFSS (международная ассоциация “Наука и пожарная безопасность”), SFPE (Общество инженеров пожарной безопасности), IFE (Институт по-

**Новости пожарной безопасности**  
Научно-практический центр  
"Пожарная безопасность"

**Обучение и обмен опытом - конференции, семинары, выставки**

**20 января - 2 февраля 2011 г.** международный форум «Fire and Materials» пройдет в г. Сан-Франциско (Калифорния, США)

**8-9 февраля 2011 г.** семинар «Расчет пожарных рисков, практика выполнения опыт согласования и перспективы совершенствования» пройдет в г. Москва (Россия)

**15-18 февраля 2011 г.** Международный Форум «Технологии безопасности» пройдет в г. Москва (Россия)

**13-16 марта 2011 г.** международная выставка «Fire, Safety and Protection» («Пожары, безопасность и защита»)

**Новости**

[Аналisis пожара в мебельном магазине](#)  
[Здоровый образ жизни пожарных](#)  
[Как горят новогодние елки](#)  
[Пожарная безопасность в Новый год](#)  
[Выпущена новая модель стандартных сигарет](#)  
[Все новости](#)

**Официальная информация МЧС России**

[Служебная статистика пожаров в России за 11 месяцев 2010 года](#)  
[Прогноз пожаров в России в 2011](#)  
[В МЧС подведены итоги обеспечения пожарной безопасности в новогодние праздники](#)

**Интересные факты**

Из 1 148 100 сотрудников пожарной охраны США: 29 % профессиональные пожарные и 71 % добровольцы (по статистике NFPA за 2010 г.)

[Все факты](#)

**Подписка на рассылку**

Ваш e-mail:   
Ваше имя:   
Ваш пол:  Мужчина  Женщина  
  
[Помощь письмом](#)  
[Архив рассылок](#)

Главная страница сайта “Новости пожарной безопасности” ([www.01-news.ru](http://www.01-news.ru))

жарных инженеров), IAFF (Международная ассоциация пожарных), NVFC (Национальный совет пожарных добровольцев), IAFC (Международная ассоциация пожарных руководителей) и др. (всего более двух десятков организаций). Рефераты наиболее интересных и актуальных работ представлены на сайте “Новости пожарной безопасности” ([www.01-news.ru](http://www.01-news.ru)) (см. рисунок). Вот темы некоторых из них: по данным исследования кадрового обеспечения пожарных бригад для эффективной работы требуется не менее четырех сотрудников в команде; в исследовании эвакуации людей из высотных зданий НИСТ определены факторы, влияющие на скорость движения людского потока; в США разработаны стандартные сигареты для проверки устойчивости мягкой мебели к возгоранию; в Великобритании разработана интегрированная система реагирования на чрезвычайные ситуации, которая в случае пожара собирает данные с сенсоров здания, оценивает достоверность и правильность этих данных и использует их для управления быстрее, чем компьютерное моделирование пожара в реальном времени, и т. д.

НПЦ “Пожарная безопасность” выполняет обзор публикаций в международных периодических изданиях, таких как Fire Safety Science, Fire Technology, Applied Fire Science: например, распространение дыма

в шахтах лифтов высотных зданий при пожаре; математическая модель взаимодействия частиц дыма с водой распыленной струи, создаваемой спринклерной установкой; эвакуация из кинотеатров.

При работе с информацией редакторами НПЦ отбираются интересные факты, которые могут представлять интерес как для исследователей, так и для практиков. Например, установлено, что в период новогодних праздников наиболее значимым обстоятельством, способствующим возникновению пожаров и гибели людей, является пребывание людей в состоянии алкогольного опьянения. Если в будни доля погибших в состоянии алкогольного опьянения от общего количества погибших находится в пределах 60–70 %, то в праздничные дни она увеличивается до 90–95 % (по официальной статистике МЧС).

Кроме того, на сайте представлены данные отечественной и зарубежной статистики, обзор публикаций СМИ и анонс профессиональных конференций, семинаров и выставок. Два раза в месяц выходит рассылка-дайджест наиболее интересных новостей за прошедший период. Таким образом, профессионалы в области пожарной безопасности имеют уникальную возможность оставаться в курсе событий, не тратя время на поиски информации в “море” печатных изданий и сайтов.

Материал поступил в редакцию 27 декабря 2010 г.  
Электронный адрес автора: [ta.yudina@gmail.com](mailto:ta.yudina@gmail.com).

**Н. В. Барановский**

канд. физ.-мат. наук, докторант Национального исследовательского Томского политехнического университета, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета, г. Томск, Россия

**Г. В. Кузнецов**

д-р физ.-мат. наук, профессор, заместитель директора по научной работе Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск, Россия

УДК 533.6

## ВЛИЯНИЕ М-КОМПОНЕНТОВ НАЗЕМНОГО ГРОЗОВОГО РАЗРЯДА НА ПРОЦЕСС ЗАЖИГАНИЯ ЛИСТВЕННОГО ДЕРЕВА

На основе одномерной двухслойной физико-математической модели зажигания дерева лиственной породы (березы) проведена оценка влияния М-компонентов наземного грозового разряда на процесс зажигания. Задача решена в цилиндрической системе координат. Рассмотрены типичные наземные грозовые разряды. Оценка влияния М-компонентов на процесс зажигания лиственного дерева проведена для типичного диапазона изменения их характеристики.

**Ключевые слова:** зажигание; наземный грозовой разряд; М-компонент.

### Введение

В малообжитых районах возгорание лесных массивов происходит, как правило, в результате наземных грозовых разрядов [1–5]. Основными характеристиками грозовых разрядов являются полярность, пиковый ток удара и напряжение, а также продолжительность их действия [6]. М-компоненты (в зарубежной литературе M-components), впервые описанные в [7], проявляются как увеличение яркости канала в течении непрерывного тока (в зарубежной литературе используется термин *continuing current*). М-компоненты могут иметь пик в диапазоне килоампер [8]. Необходимо исследовать влияние М-компонентов на процесс зажигания ствола лиственного дерева, чтобы оценить целесообразность дополнения существующих эмпирических [9, 10] и детерминированно-вероятностных [11, 12] методов прогноза лесной пожарной опасности подсистемами учета наличия М-компонентов грозового разряда. В качестве физико-математической модели зажигания лиственного дерева наземным грозовым разрядом использована одномерная двухслойная модель [13].

Цель исследования — оценка влияния М-компонентов на процесс зажигания лиственного дерева наземным грозовым разрядом, а также определение

условий зажигания в зависимости от параметров разряда.

### Физическая постановка задачи

Сердцевина лиственного дерева более насыщена влагой, и, как следствие, электрический ток разряда протекает именно в этой области [14]. Использована следующая физическая модель. В определенный момент времени в ствол лиственного дерева ударяет грозовой разряд заданной полярности и продолжительности действия. Полагаем, что вольт-амперные характеристики разряда одинаковы для различных

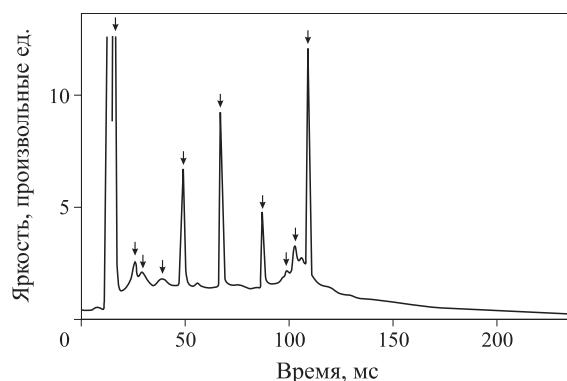
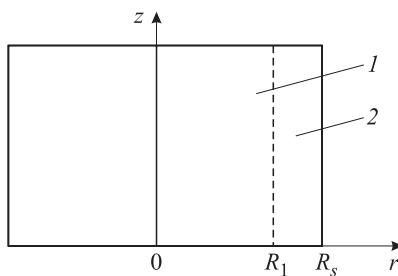


Рис. 1. Зависимость яркости канала молнии от времени [8]



**Рис. 2.** Схема области решения: 1 — сердцевина ствола; 2 — кора дерева

сечений ствола дерева. Ток разряда имеет М-компоненты. На рис. 1 представлен типичный разряд с М-компонентами. Разогрев древесины ствола происходит за счет джоулева тепла, выделяемого в сердцевине ствола дерева. В результате протекания электрического тока происходит разогрев древесины. При достижении тепловыми потоками из сердцевины ствола к поверхности зажигания и ее температурой критических значений происходит возгорание древесины. Область решения представлена на рис. 2.

### Математическая постановка задачи

Математически процесс разогрева ствола дерева под воздействием наземного грозового разряда описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений [13]:

$$\rho_{\text{эф}} c_{\text{эф}} \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_{\text{эф}}}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + JU - QW\phi_2; \quad (1)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right); \quad (2)$$

$$\rho_3 \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = 0; \quad (3)$$

$$\rho_4 \frac{\partial \phi_2}{\partial t} = -W; \quad (4)$$

$$\sum_{i=3}^5 \phi_i = 1; \quad (5)$$

$$W = \frac{A(P^h - P)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{эф}} &= \rho_3 \phi_3 + \rho_4 \phi_4 + \rho_5 \phi_5; \\ c_{\text{эф}} &= c_3 \phi_3 + c_4 \phi_4 + c_5 \phi_5; \\ \lambda_{\text{эф}} &= \lambda_3 \phi_3 + \lambda_4 \phi_4 + \lambda_5 \phi_5. \end{aligned} \quad (7)$$

Границные условия для уравнений (1)–(2):

$$r = 0: \quad \lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0; \quad (8)$$

$$r = R_1: \quad \lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T_1}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}; \quad T_1 = T_2; \quad (9)$$

$$r = R: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \alpha(T_e - T_{Rs}). \quad (10)$$

Начальные условия для уравнений (1)–(5):

$$t = 0: \quad T_i(r) = T_{i0}(r); \quad (11)$$

$$\phi_3(0) = 0,715; \quad (12)$$

$$\phi_4(0) = 0,285. \quad (13)$$

Здесь  $\rho_{\text{эф}}, c_{\text{эф}}, \lambda_{\text{эф}}$  — эффективная плотность, теплоемкость и теплопроводность древесины внутренней части ствола;

$T_i$  — температура внутренней части ствола ( $i = 1$ ) и коры ( $i = 2$ );

$t$  — время;

$r$  — координата;

$J$  — сила тока;

$U$  — напряжение;

$Q$  — тепловой эффект испарения влаги;

$W$  — массовая скорость испарения воды;

$\phi_i$  — объемная доля органического вещества ( $i = 3$ ), воды ( $i = 4$ ) и водяного пара ( $i = 5$ );

$\rho_i, c_i, \lambda_i$  — плотность, теплоемкость и теплопроводность коры ( $i = 2$ ), органического вещества ( $i = 3$ ), воды ( $i = 4$ ) и водяного пара ( $i = 5$ );

$A$  — коэффициент аккомодации;

$P^h$  — давление насыщенного водяного пара;

$P$  — парциальное давление паров воды в воздухе;

$R$  — универсальная газовая постоянная;

$M$  — молекулярная масса воды;

$R_1$  — граница раздела сердцевины и коры ствола дерева;

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи.

Индексы “ $Rs$ ”, “ $e$ ” и “ $0$ ” соответствуют параметрам на внешней границе ствола дерева, внешней среды и параметрам в начальный момент времени.

Численное исследование проведено с использованием следующих исходных данных:

$\rho_3 = 650 \text{ кг}/\text{м}^3; c_3 = 1670 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$

$\lambda_3 = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  [14];  $\rho_4 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3;$

$c_4 = 4180 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); \lambda_4 = 0,588 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$

$\rho_5 = 0,598 \text{ кг}/\text{м}^3; c_5 = 2130 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$

$\lambda_5 = 0,024 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}).$

Параметры испарения:

$Q = 2250 \text{ Дж}/\text{кг}; A = 0,1; R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К});$

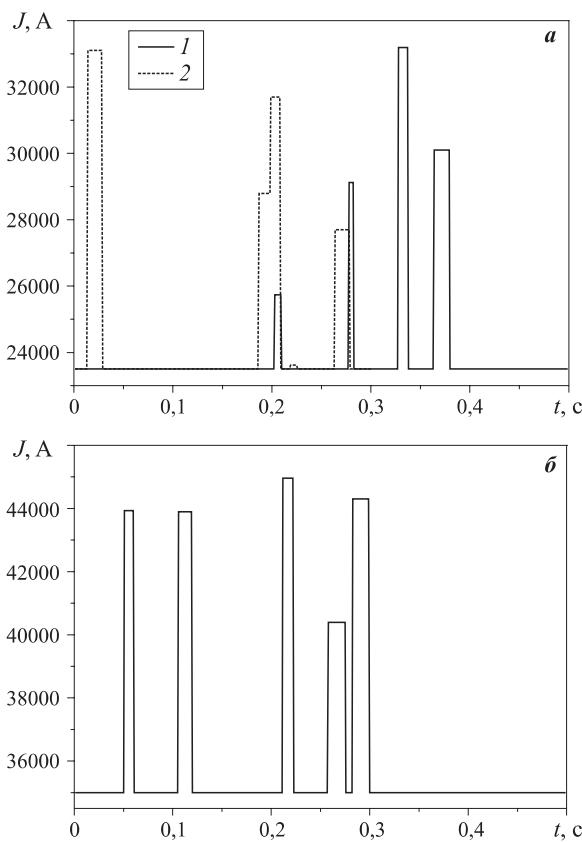
$M = 0,010 \text{ кг}/\text{моль}.$

Параметры внешнего воздействия:

$\alpha = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}).$

### Результаты численного моделирования и обсуждение

Математическая модель (1)–(7) с краевыми и начальными условиями (8)–(13) реализована конечно-



**Рис. 3.** Зависимость силы тока наземного разряда и М-компонентов от времени

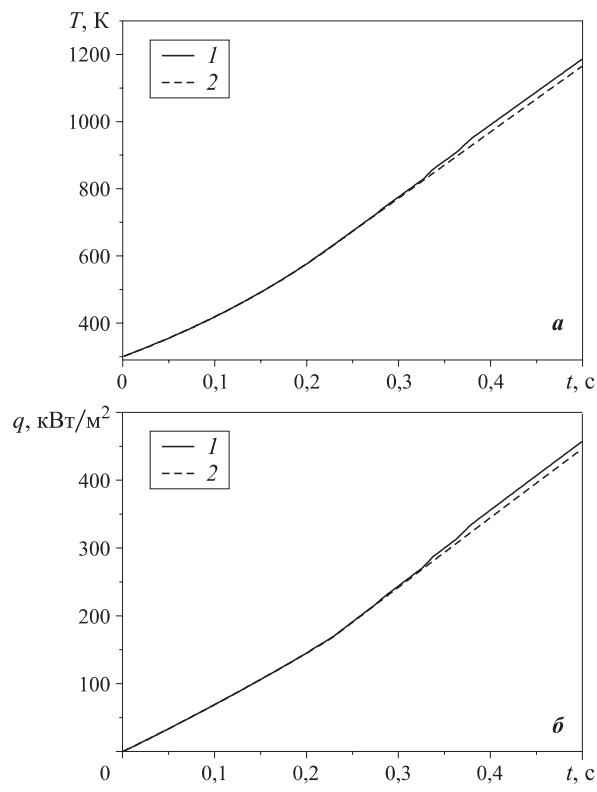
разностным методом [15]. Для решения разностных аналогов одномерных уравнений использован метод прогонки [15].

В результате экспериментального исследования [14] определены критерии зажигания по температуре и тепловому потоку к поверхности зажигания. Рассматривается сценарий, когда в ствол сосны ударяет разряд отрицательной полярности длительностью 300–500 мс со средней силой тока 23,5 и 35 кА, напряжением 100 кВ [16, 17]. Ток имеет пять М-компонентов.

На рис. 3 представлена зависимость силы тока наземного грозового разряда и М-компонентов от времени. На рис. 3, *a* кривые 1 и 2 соответствуют разрядам продолжительностью 500 и 300 мс соответственно. На рис. 3, *б* приведена зависимость силы тока и М-компонентов для разряда со средней силой тока выше 35 кА.

На рис. 4 представлена зависимость температуры поверхности зажигания и теплового потока к поверхности зажигания в различные моменты времени для разряда продолжительностью 500 мс. Условия зажигания оценивались по критериям [14], приведенным в таблице.

Анализ результатов (см. рис. 4) показал, что условия зажигания выполняются для типичного назем-



**Рис. 4.** Зависимость температуры поверхности зажигания (*a*) и теплового потока к ней (*б*) от времени при длительном наземном грозовом разряде: 1 — с М-компонентами; *б* — без них

#### Экспериментально определенные условия зажигания [14]

Время задержки зажигания, с	Тепловой поток, кВт/м <sup>2</sup>	Температура поверхности, К
136	15	—
61,2	21	645
17,2	42	688
1,8	125	755
0,43	210	801

ного разряда (продолжительностью около 500 мс). Исследованиями установлено, что кратковременный разряд (продолжительностью менее 500 мс) со средними вольт-амперными характеристиками не приводит к воспламенению ствола лиственного дерева, т. е. установлена явная зависимость зажигания ствола дерева от времени экспозиции.

Анализ влияния М-компонентов типичного наземного грозового разряда выявил слабую зависимость процесса зажигания лиственного дерева от их наличия (см. рис. 4). Влияние же М-компонентов наземного грозового разряда с высоким значением средней силы тока еще менее заметно: кривые в этом случае ложатся практически одна в одну.

## Заключение

В настоящей работе проведена оценка влияния наличия М-компонентов на процесс зажигания лиственного дерева наземным грозовым разрядом. Выявлены условия зажигания, которые характерны для типичного диапазона изменения параметров грозового разряда. Установлено, что грозовой разряд продолжительностью около 500 мс приводит к воспламенению ствола лиственного дерева независимо от наличия или отсутствия в нем М-компонентов. Если же зависимость от наличия М-компонентов и имеет место, то она слишком слаба и падает с увеличением значения средней силы тока наземного грозового разряда. Установлена также явная зависимость зажигания ствола дерева током наземного грозового разряда от времени экспозиции. Кратковременный (менее 300 мс) разряд с типичными вольт-амперными характеристиками не может привести к воспламенению материала ствола лиственного дерева.

Можно сделать вывод, что при разработке прикладного программного обеспечения для прогнозирования пожарной опасности лесного массива учитывать наличие М-компонентов нет необходимости.

Этот факт позволяет оперировать более простыми физико-математическими моделями при построении информационно-прогностических систем для нужд охраны лесов от пожаров. Кроме того, база данных такой системы может не содержать информацию по М-компонентам наземного грозового разряда.

С другой стороны, в настоящей работе проведено моделирование зажигания лиственного дерева наземным грозовым разрядом в более полной физической постановке, чем в работе [13]. Полученные результаты имеют самостоятельное значение для развития теории лесных пожаров. В настоящей работе местоположение и продолжительность М-компонентов разряда определялись случайным образом из диапазона их изменения, определенного статистически [8]. Программно это реализовано с помощью генератора случайных чисел. Известно, что непрерывный ток (continuing current) имеет различные волновые формы [8] в зависимости от местоположения и продолжительности М-компонентов. В последующих работах при проведении фундаментальных исследований этот вопрос может быть проработан более детально.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flannigan M. D., Wotton B. M. Lightning-ignited fires in northwestern Ontario // Canadian Journal of Forest Research. — 1991. — Vol. 21. — P. 277–287.
2. Козлов В. И., Муллаяров В. А. Грозовая активность в Якутии. — Якутск : Якутский филиал изд-ва СО РАН, 2004. — 104 с.
3. Иванов В. А. Методологические основы классификации лесов Средней Сибири по степени пожарной опасности от гроз : дис. ... д-ра с.-х. наук. — Красноярск : СибГТУ, 2006. — 350 с.
4. Conedera M., Cesti G., Pezzatti G. B., Zumbrunnen T., Spinedi F. Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem // Forest Ecology and Management. — 2006. — Vol. 234. — Supplement 1. — P. S68.
5. Latham D., Williams E. Lightning and forest fires // Forest fires: Behavior and Ecological Effects. — Netherlands, Amsterdam : Elsevier, 2001. — P. 375–418.
6. Burke C. P., Jones D. L. On the polarity and continuing current in unusually large lightning flashes deduced from ELF events // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 1996. — Vol. 58. — P. 531–548.
7. Malan D. J., Collens H. Progressive lightning, III, the fine structure of return lightning strokes // Proc. R. Soc. Lond., A, Math. Phys. Sci. — 1937. — Vol. 162. — P. 175–203.
8. Campos L. Z. S., Saba M. M. F., Pinto O. Jr., Ballarotti M. G. Waves of continuing currents and properties of M-components in natural negative cloud-to-ground lightning from high-speed video observations // Atmospheric Research. — 2007. — Vol. 84, No. 9. — P. 302–310.
9. Курбатский Н. П., Костырина Т. В. Национальная система расчета пожарной опасности США // Сб.: Обнаружение и анализ лесных пожаров. — Красноярск : Институт леса и древесины СО АН СССР, 1977. — С. 38–90.
10. Larjavaara M., Kuuluvainen T., Rita H. Spatial distribution of lightning-ignited fires in Finland // Forest Ecology and Management. — 2005. — Vol. 208, No 1–3. — P. 177–188.
11. Барановский Н. В. Детерминированно-вероятностный прогноз лесной пожарной опасности на основе экспериментальных данных по зажиганию лесного горючего материала // Наукоемкие технологии. — 2009. — № 6. — С. 66–70.

12. Барановский Н. В. Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 93–99.
13. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева лиственной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 4. — С. 19–22.
14. Заболотный А. Е., Заболотная М. М., Заболотная Ю. А., Тимошин В. Н. Определение зон безопасного применения твердотопливных генераторов пожаротушащих аэрозолей // Вопросы специального машиностроения. — 1995. — Вып. 7–8. — С. 15–21.
15. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — С. 33–36.
16. Soriano L. R., De Pablo F., Tomas C. Ten-year study of cloud-to-ground lightning activity in the Iberian Peninsula // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2005. — Vol. 67, No. 16. — P. 1632–1639.
17. Cummins K. L., Murphy M. J., Bardo E. A., Hiscox W. L., Pyle R. B., Pifer A. E. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U. S. national lightning detection network // Journal of Geophysical Research. — 1998. — Vol. 103. — P. 9035–9044.

*Материал поступил в редакцию 2 ноября 2010 г.  
Электронный адрес авторов: firedanger@yandex.ru.*



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

**А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.  
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие  
/ Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —  
М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.**



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

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

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

**И. В. Литвиненко**

старший инженер исследовательско-испытательной лаборатории ГУ МЧС Украины в Черниговской области, г. Чернигов, Украина

**В. С. Щербина**

адъюнкт Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкассы, Украина

**Г. И. Елагин**

канд. хим. наук, старший научный сотрудник, профессор Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкассы, Украина

УДК 614.841

## ОЦЕНКА ПОЖАРООПАСНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА И ЛАКА КОСВЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Предложена простая и доступная в условиях лаборатории практически любого управления МЧС методика приближенной оценки пожароопасности масел и лаков. При этом используется минимум экспериментальных данных, получаемых титриметрически. Приведены примеры использования методики для первичной оценки пожарной опасности образцов восьми рыночных олиф и лаков.

**Ключевые слова:** пожароопасность; теплота сгорания; самовозгорание; температура вспышки; жиры; масла; моноглицериды; молекулярная масса; кислотное число; число омыления; спиртовая часть; кислотный остаток; иодное число.

При расследовании пожаров, причиной которых явилось тепловое самовозгорание твердых горючих веществ с развитой поверхностью, пропитанных растительными жирами и маслами, в большинстве случаев приходится довольствоваться допущением вероятности самовоспламенения [1–5], т. е. оценкой склонности системы к самонагреванию и самовоспламенению. В то же время большое количество олиф и лакокрасочных материалов, представленных сегодня на рынках стран СНГ, изготавливается по ТУ предприятий. Для большинства из них пожароопасность не оценивается даже приблизительно. Необходимостью оперативной оценки возможности возникновения и быстрого развития горения в таких материалах обуславливается актуальность исследований, направленных на разработку достаточно простых методов оценки свойств рыночных лаков и масел, в частности определения их пожароопасности и склонности к самовоспламенению.

Растительные и животные масла и жиры в основном состоят из твердых и жидкых глицеридов насыщенных и ненасыщенных кислот; лаки представляют собой растворы полимеров или тех же глицеридов кислот в органических растворителях. Важнейшими показателями при оценке пожароопасности этих материалов можно считать склонность к самонагреванию, температуру вспышки и теплоту сгорания.

Склонность их к самонагреванию (и, соответственно, вероятность самовозгорания) тем выше, чем больше двойных связей имеет молекула вещества [6, 7]. Критерием оценки количества двойных связей в таких веществах считается так называемое иодное число (ИЧ). Обычно его рассматривают как количество граммов иода, которое присоединяется к 100 г жира [2, 6, 7]. Наиболее простым способом определения этого показателя является разработанная авторами данной работы методика [8], основанная на присоединении брома к олефину по Кауфману [9, 10].

Легколетучие растворители, которые входят в состав лаков, а иногда добавляются и к олифам, нередко обуславливают температуру вспышки системы ниже 61 °C, что требует обязательной проверки этого показателя с целью отнесения таких материалов к легковоспламеняющимся.

Количество теплоты, которое выделяется при горении, прямо связано со скоростью распространения пожара и его мощностью. Наиболее просто, с точностью, достаточной для приближенной оценки, количество теплоты, выделяемой при горении масла или лака, можно рассчитать по методу Д. И. Менделеева [7, 11–13]. Для этого необходимо знать процентный состав смеси, однако при отсутствии специальных установок для проведения эле-

© Литвиненко И. В., Щербина В. С., Елагин Г. И., 2011

ментного анализа в органических веществах определить его невозможно даже приблизительно. В данном случае задача, однако, упрощается, так как практически все жидкие олифы и масла, входящие в состав лаков, можно считать моноглицеридами органических кислот и без больших погрешностей рассчитать их молекулярную массу и процентный состав по кислотному числу (КЧ), числу омыления (ЧО) и ИЧ смеси.

В настоящей работе поставлена задача на примере рыночных олиф и лаков показать возможность оперативной оценки пожароопасности таких материалов методами, доступными в условиях обычной пожарной лаборатории.

ИЧ каждого образца определяется по методике [8]; температура вспышки олиф и лаков — при помощи прибора ПВНЕ (по методике, например, [14]).

Для определения количества теплоты, выделяемой при сгорании олифы или лака, необходимо найти молекулярную массу  $M_{ж}$  глицерида и оценить содержание в нем атомов углерода (C), водорода (H) и кислорода (O). В условиях отсутствия специальных установок эти показатели приближенно можно определить расчетным путем на основе простых титриметрических анализов по КЧ [15], ЧО [15] и ИЧ [8].

В большинстве случаев жидкий жир представляет собой смесь моноглицеридов, которая может содержать некоторое количество свободных органических кислот. Последние при омылении реагируют в первую очередь со щелочами. Учитывая, что КЧ определяется в тех же единицах (мг гидроксида калия на 1 г жира), что и ЧО, при определении средней молекулярной массы смеси моноглицеридов КЧ можно просто вычесть из ЧО. Конечная формула в этом случае принимает вид:

$$M_{ж} = 56000 / (\text{ЧО} - \text{КЧ}). \quad (1)$$

Сказанное относится к чистым жирам и маслам. Разумеется, что примеси, например, растворителей, которые не содержат сложноэфирных групп, но вносят свой вклад в общую навеску, будут несколько занижать результаты определения молекулярной массы. Поэтому расчет по такому способу дает, по существу, квазимолекулярную массу, тем не менее ошибка в данном случае значительной не представляется.

Каждая молекула моноглицерида состоит из спиртовой части ( $\text{HOCH}_2-\text{CHO}-\text{CH}_2\text{O}$ ) и кислотных остатков ( $\text{RCO}$ ). Молекулярная масса спиртовой части  $M_{сп}$  всегда одинакова, для моноглицерида  $M_{сп} = 91$ . Остальная масса из рассчитанной  $M_{ж}$  относится к кислотной части  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1-2x}\text{CO}$ , где  $x$  — количество двойных связей в молекуле, которое можно высчитать из результатов по определению ИЧ. 100 г жира

присоединяют ИЧ г иода, т. е. 100 г жира содержат ИЧ/254 двойных связи, а молекула жира содержит их  $x = M_{ж} \text{ ИЧ}/25400$ . В состав каждого кислотного остатка входит карбонил ( $\text{CO}$ ) и радикал с химической формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1-2x}$ , где  $n$  — количество атомов карбона в этом остатке. Отсюда легко рассчитать общее количество в радикале атомов С и Н. Масса радикала  $M_R$  включает массу атомов С и Н:

$$M_R = 12n + 1(2n + 1 - 2x) = 14n + 1 - 2M_{ж} \text{ ИЧ}/25400 = 14n + 1 - M_{ж} \text{ ИЧ}/12700.$$

С другой стороны, масса радикала моноглицерида — это масса молекулы жира минус масса остатка  $\text{HOCH}_2-\text{CHON}-\text{CH}_2\text{OCO}$ . Отсюда

$$14n + 1 - M_{ж} \text{ ИЧ}/12700 = M_{ж} - (48 + 7 + 64), \quad (2)$$

или  $14n = M_{ж}(1 + \text{ИЧ}/12700) - 120$ .

ИЧ жидких жиров и масел обычно не превышает 150–200, следовательно составляющей ИЧ/12700 без большой погрешности можно пренебречь и считать, что

$$14n = M_{ж} - 120; n = M_{ж}/14 - 8,6. \quad (3)$$

Общее количество атомов в этой молекуле составляет:

- углерода С:

$$n_C = 4 + M_{ж}/14 - 8,6 = M_{ж}/14 - 4,6; \quad (4)$$

- водорода Н:

$$n_H = 7 + 2n_C + 1 - 2x = 8 + 2n_C - 2x; \quad (5)$$

- кислорода О:

$$n_O = 3 + 1 = 4. \quad (6)$$

Определив  $M_{ж}$ ,  $n_C$ ,  $n_H$  и  $n_O$ , далее легко оценить процентное содержание в молекуле каждого из атомов и по формуле Менделеева — приближенно теплоту сгорания данного жира. В настоящей работе формула Менделеева используется в виде [13]:

$$Q_h = 350C + 1185H - 1090O + 52,5N + 5(\text{ИЧ}) - 25(9H + W), \quad (7)$$

который, на наш взгляд, приводит к меньшим ошибкам.

В этой формуле:  $Q_h$  — низшая теплота сгорания жира; С, Н, О, N — содержание в молекуле соответствующих элементов, %;  $W$  — содержание в молекуле влаги, %.

Большинство растворителей, которые используются при изготовлении лаков, содержат те же элементы (С, Н, О) и приблизительно в тех же количествах, в которых их содержат масла и жиры. Поэтому и в случае лаков ошибка определения теплоты сгорания по рассчитанному таким способом составу значительной не ожидается.

**Таблица 1.** Показатели свойств исследованных образцов, полученные экспериментально

Номер образца	КЧ	ЧО	ИЧ	Содержание элементов, %			Температура вспышки, °C
				C	H	O	
1	2	248	203	60,9	12,0	27,1	> 80
2	5	178	185	72,6	6,4	21,0	38
3	7	214	89	64,2	12,9	22,9	> 80
4	9	266	40	58,7	13,0	28,3	< 15
5	11	161	108	70,1	13,1	16,8	42
6	5	141	29	71,8	12,9	15,3	< 15
7	7	160	30	69,5	13,3	17,2	35
8	13	166	38	69,4	13,5	17,1	25

Для иллюстрации предложенного способа оценки пожароопасности жиров, масел и их растворов проведена оценка восьми образцов рыночных олиф и лаков: 1 — олифа натуральная по ГОСТ 7931–76 (Нежинский жиркомбинат); 2 — олифа натуральная по ГОСТ 7931–76 (фирма “Химтрейд”, г. Одесса); 3 — олифа натуральная по ТУ 205 Украины 632–82 (фирма “Колор”, г. Черкассы); 4 — олифа “Оксоль” по ТУ 24.3-32527745-002–2004 (ТОВ НПП “Химреактив”, г. Киев); 5 — олифа “Оксоль” по ГОСТ 190–78 (Автобытпром, г. Запорожье); 6 — олифа “Оксоль” по ГОСТ 190–78 (фирма “Люксхим”, г. Сумы); 7 — лак “Древоцвет” (фирма “Мальва”, г. Днепродзержинск); 8 — лак ПФ-170 по ГОСТ 15907–70 ( завод “Янтарь”, г. Коростень).

Для сравнения результатов по определению теплоты сгорания процентное содержание элементов в образцах оценивалось предлагаемым расчетным методом и экспериментально, методом элементного анализа. В табл. 1 приведены результаты экспериментального определения показателей исследован-

ных образцов, а в табл. 2 — значения, полученные расчетным путем.

Как следует из табл. 1 и 2, с точки зрения потребителя наиболее качественной является олифа производства Нежинского жиркомбината, приготовленная на основе веществ, содержащих в молекулах значительное число двойных связей, и, следовательно, обеспечивающая достаточно быстрое и полное отверждение с образованием устойчивого к растворителям покрытия. В то же время этот образец не содержит легковоспламеняющихся жидкостей. Такой материал относительно стоек к принудительному воспламенению, но при пропитке пористых горючих носителей склонен к самонагреванию и самовоспламенению.

Достаточно качественной, судя по иодному числу, является и олифа фирмы “Химтрейд”. Однако этот образец содержит растворители с температурой вспышки 38 °C, которых в натуральной олифе в принципе быть не должно и которые автоматически обуславливают отнесение образца к легковоспламеняющимся жидкостям. Олифа фирмы “Колор” — наименее пожароопасный из исследованных образцов, хотя, судя по иодному числу, быстрого отверждения не обеспечивает. Остальные материалы — олифы “Оксоль” и лаки, безусловно, относятся к легковоспламеняющимся жидкостям. Имея незначительное количество молекул с двойными связями, они отверждаются длительное время и не образуют стойкого к растворителям покрытия.

## Выводы

1. Разработана методика приближенной оценки пожарной опасности наиболее типичных рыночных масел, олиф и лаков косвенным методом. При этом расчет теплоты сгорания масел, олиф и лаков предлагается проводить по методу Д. И. Менделеева, используя для оценки квазихимическую формулу веществ.

**Таблица 2.** Показатели свойств исследованных образцов, полученные расчетным путем

Номер образца	$M_{ж}$	$x$	Содержание элементов, n/%			Теплота сгорания, кДж/кг, рассчитанная		Ошибка расчетного метода	
			C	H	O	предлагаемым методом	методом элементного анализа	кДж/кг	%
1	228	1,8	11,8/60,7	27,8/11,9	4/27,4	30896	30697	199	6,7
2	324	2,4	18,5/72,5	20,2/6,6	4/20,9	30358	30190	168	5,6
3	271	1,0	14,8/64,1	35,6/12,8	4/23,1	32650	32803	153	4,7
4	218	0,3	11,0/58,6	29,4/13,0	4/28,4	30094	30140	46	1,5
5	373	1,6	22,0/70,0	48,8/13,0	4/17,0	35667	35820	153	4,3
6	412	0,5	24,8/71,8	53,0/12,8	4/15,4	35884	35991	7	0,2
7	366	0,4	21,5/69,3	50,2/13,5	4/17,2	35490	35368	122	3,4
8	366	0,5	21,5/69,4	50,0/13,4	4/17,2	35469	35576	107	3,0

2. Экспериментально установлены показатели иодного числа, кислотного числа, числа омыления, теплоты сгорания и температуры вспышки некоторых рыночных олиф и масел. Показано, что ошибка в определении теплоты сгорания, рассчитанной по предлагаемому методу, не превышает 7 % по сравнению с расчетом, проведенным на основе данных элементного анализа.

3. Выяснено, что среди исследованных рыночных продуктов наиболее качественными и относительно пожаробезопасными можно считать лишь олифу производства Нежинского жиркомбината и до некоторой степени олифу фирмы "Колор". Остальные же материалы содержат легколетучие растворители и относятся к легковоспламеняющимся жидкостям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротких Н. И., Мартынюк В. О. Методическое пособие по вопросам установления причин возникновения пожаров и подготовка материалов для проведения пожарно-технических экспертиз. — Черновцы : Управление внутренних дел Черновицкого облисполкома, 1982. — 36 с.
2. Кропивянский В. П. Информационное письмо о характерных пожарах, произошедших по причине самовозгорания, и мерах по их предупреждению. — Львов : Управление пожарной охраны УВД Львовского облисполкома, 1986. — 44 с.
3. Дерев'янко В. П., Даниленко С. М. Висновок по дослідженню причини виникнення пожежі 07.05.2002 р. на ВАТ "Ніжинська меблева фабрика", м. Ніжин. — 2002. — 2 с.
4. Ле Суан Ты. Пожарная обстановка в мебельной промышленности: Вьетнам // Материалы 16-й Научно-технической конференции "Системы безопасности" (СБ—2007). — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — С. 143–144.
5. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. — М. : ВНИИПО, 1999. — 585 с.
6. Демидов П. Г., Шандыба В. А., Щеглов П. П. Горение и свойства горючих веществ. — М. : Химия, 1981. — 423 с.
7. Єлагін Г. І., Шкарабура М. Г., Кришталь М. А., Тищенко О. М. Основи теорії розвитку і припинення горіння (Скорочений курс). Ч. 1. — Черкаси : ЧІПБ, 2005. — 188 с.
8. Єлагін Г. І., Литвиненко І. В., Щербина В. С., Тарасов С. С. Модифікована методика визначення йодного числа рослинних масел та жирів // Науковий вісник УкраїНДІПБ. — 2009. — № 2 (20). — С. 204–207.
9. Kaufmann H. P., Hansen-Schmidt E. // Arch. Pharm. — 1925. — Vol. 263. — P. 32.
10. Kaufmann H. P. // Z. Untersuch. Lebensm. — 1926. — Vol. 51. — P. 3.
11. Менделеев Д. И. О теплоте горения углей и другого топлива // Журнал Русского физико-химического общества. — 1897. — Т. 29, вып. 2 : часть химическая. — 144 с.
12. Менделеев Д. И. Сочинения. — М. : Изд-во АН СССР, 1949. — Т. XV. — 627 с.
13. Алексеев А. Г., Єлагін Г. І., Наконечний В. В. Аналіз методів розрахунку теплоти згорання матеріалів // Пожежна безпека. Теорія і практика : збірник наукових праць. — Черкаси : АПБ, 2010. — № 5. — С. 5–9.
14. Єлагін Г. І., Дядченко О. І., Алексеев А. Г. Лабораторний практикум з дисципліни "Основи теорії розвитку і припинення горіння". Навчальне видання. — Черкаси : АПБ, 2010. — 86 с.
15. Лосев И. П., Федотова О. Я. Практикум по химии высокополимерных соединений. — М. : Госхимиздат, 1962.

*Материал поступил в редакцию 25 октября 2010 г.*

*Электронные адреса авторов: ilyavas@ukr.net;  
Vik77@i.ua; GYelagin@ukr.net.*



Е. В. Старовойтова

аспирант Казанского государственного технологического университета,  
г. Казань, Татарстан



А. Д. Галеев

канд. техн. наук, доцент Казанского  
государственного технологического  
университета, г. Казань, Татарстан



С. И. Поникаров

д-р техн. наук, профессор Казанского  
государственного технологического  
университета, г. Казань, Татарстан

УДК 536.24:614.83

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПАРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ КИПЕНИИ АВАРИЙНОГО ПРОЛИВА СЖИЖЕННОГО ГАЗА

Представлены результаты численного анализа влияния метеорологических условий на интенсивность парообразования сжиженного бутана при аварийном проливе.

**Ключевые слова:** аварийный пролив; сжиженный газ; кипение; численное моделирование.

### Введение

Наибольшее число крупных аварий в промышленности связано с утечкой сжиженных углеводородных газов. Особую опасность представляют залповые выбросы взрывопожароопасных и токсичных газов, которые в значительной мере затрудняют локализацию аварий и защиту людей. При выбросах сжиженных газов (СГ) из емкостей под давлением происходит их бурное вскипание с образованием большого количества газообразного горючего или токсичного вещества.

Можно выделить следующие процессы, определяющие динамику развития аварии с СГ:

- истечение СГ из технологических систем в случае их повреждения или внезапного полного разрушения;
- мгновенное вскипание СГ;
- разлив жидкой фазы на подстилающую поверхность и кипение СГ;
- рассеивание паровых облаков в граничном слое атмосферы;
- сгорание облака топливно-воздушной смеси.

Недостаточное знание этих процессов не только не позволяет предсказать масштабы и течение возможных аварий, но и обосновать необходимый уровень безопасности (риска) технологических систем, выбрать экономически эффективные проектные и конструкторские решения.

Одним из ключевых моментов при оценке последствий возможных аварий на объектах хранения, транспортирования и переработки сжиженных

газов является определение количества вещества, поступающего в окружающее пространство с поверхности пролива при кипении СГ, с учетом следующих факторов:

- свойств подстилающей поверхности;
- преобладающих атмосферных условий (температура воздуха, скорость ветра и т. д.);
- изменения температуры жидкой фазы.

В связи с этим разработка математической модели кипения, позволяющей рассчитывать скорость поступления паров СГ в атмосферу с поверхности аварийного пролива с учетом вышеперечисленных факторов, является весьма актуальной.

### Математическая модель парообразования сжиженного газа

При разгерметизации емкости со сжиженным газом в результате резкого снижения давления и нарушения термодинамического баланса происходит мгновенное вскипание определенной части жидкой фазы с образованием первичного облака. Оставшаяся жидкая фаза разливается на подстилающей поверхности и переходит в состояние кипения. Интенсивность парообразования при этом пропорциональна скорости теплопритока из окружающей среды.

По истечении определенного времени в результате уменьшения теплового потока от подстилающей поверхности возможен переход от режима кипения к диффузионному испарению, сопровождающемуся падением температуры жидкости ниже температуры кипения.

© Старовойтова Е. В., Галеев А. Д., Поникаров С. И., 2011

В данной статье предлагается модель, описывающая процесс парообразования СГ при аварийном проливе. При разработке модели были сделаны следующие допущения:

- теплоприток от подстилающей поверхности определяется теплопередачей по твердой фазе;
- не учитывается фазовый переход влаги в подстилающем слое.

Интенсивность парообразования  $W$  (кг/(м<sup>2</sup>·с)) рассчитывалась следующим образом:

$$W = \begin{cases} \frac{q_a + q_s}{\Delta H} & \text{при } q_s + q_a \geq J_{WK}; \\ J_W & \text{при } q_s + q_a < J_{WK}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $q_a$  — тепловой поток из атмосферы, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $q_s$  — тепловой поток от подстилающей поверхности к жидкости, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\Delta H$  — теплота парообразования, Дж/кг;  
 $J_{WK}$  — диффузионный поток, определяемый с помощью пристеночных функций из условия, что мольная доля пара на межфазной границе  $Y_W \approx 1$  (в модели принималось  $Y_W = 0,98$ ), кг/(м<sup>2</sup>·с);  
 $J_W$  — массовый поток пара при диффузионном испарении, кг/(м<sup>2</sup>·с).

Первое условие в формуле (1) соответствует режиму кипения, при котором температура жидкости остается постоянной; второе условие — режиму диффузионного испарения, при котором изменение температуры жидкости рассчитывается по формуле

$$\frac{dT_l}{d\tau} = \frac{q_s + q_a - J_W \Delta H}{C_{Pl} m_l}, \quad (2)$$

где  $T_l$  — температура жидкой фазы, К;  
 $\tau$  — время, с;  
 $C_{Pl}$  — удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К);  
 $m_l$  — масса жидкости, отнесенная к единице площади поверхности пролива, кг/м<sup>2</sup>.

Мольная доля пара на межфазной границе в режиме диффузионного испарения рассчитывалась по формуле

$$Y_W = \frac{P_{BW}(T_l)}{P_0}, \quad (3)$$

где  $Y_W$  — мольная доля бутана на границе раздела фаз;  
 $P_{BW}(T_l)$  — давление насыщенных паров бутана при температуре  $T_l$ , Па;  
 $P_0$  — давление в окружающей среде, Па.

Массовый поток пара с поверхности пролива определялся на основе стандартных функций стенки [1] с учетом поправки на стефановский поток [2]:

$$J_W = K_S \frac{(C_W - C_P) \rho u_*}{C^+}; \quad (4)$$

$$C^+ = \begin{cases} Sc y^+ & \text{при } y^+ < y_C^+; \\ Sc_t (u^+ + P_C) & \text{при } y^+ > y_C^+; \end{cases} \quad (5)$$

$$y^+ = \frac{\rho u_* y_P}{\mu}; \quad (6)$$

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) - \Delta B; \quad (7)$$

$$\Delta B = \begin{cases} 0 & \text{при } z_{0l}^+ < 2,25; \\ \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{z_{0l}^+ - 2,25}{87,75} + C_z z_{0l}^+ \right) \times \\ \times \sin \{0,4258 (\ln z_{0l}^+ - 0,811)\} & \text{при } 2,25 < z_{0l}^+ < 90; \\ \frac{1}{\kappa} \ln(1 + C_z z_{0l}^+) & \text{при } z_{0l}^+ > 90; \end{cases} \quad (8)$$

$$z_{0l}^+ = \frac{\rho z_{0l} u_*}{\mu}; \quad (9)$$

$$P_C = 9,24 \left[ \left( \frac{Sc}{Sc_t} \right)^{3/4} - 1 \right] [1 + 0,28 e^{-0,007 Sc / Sc_t}]; \quad (10)$$

$$K_S = \frac{\ln [1/(1 - Y_W)]}{Y_W}, \quad (11)$$

где  $K_S$  — коэффициент, учитывающий влияние стефановского потока на интенсивность испарения;  $C_W$  — концентрация пара на границе раздела фаз, кг/кг;

$C_P$  — концентрация пара в пристеночном узле расчетной сетки, кг/кг;

$\rho$  — плотность паровоздушной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

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

$\tau_w$  — напряжение трения на стенке, Па;

$Sc$ ,  $Sc_t$  — молекулярное и турбулентное числа Шмидта соответственно;  $Sc = \mu / (\rho D_m)$ ;

$D_m$  — коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/с;

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

$\mu$  — коэффициент молекулярной динамической вязкости, кг/(м·с);

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

$\kappa$  — константа Кармана, равная 0,41;

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

$C_z$  — коэффициент;

$z_{0l}$  — высота шероховатости поверхности пролива, м;

$z_{0l}^+$  — безразмерная высота шероховатости поверхности пролива.

Поле концентрации в области источника определялось из численного решения системы уравнений,

включающей уравнение неразрывности, осредненные по Рейнольдсу уравнения движения, уравнение сохранения энергии, уравнение переноса примеси и замыкаемой уравнением состояния идеального газа и  $k-\epsilon$ -моделью турбулентности. Для дискретизации дифференциальных уравнений применялся метод контрольного объема, реализованный в пакете FLUENT.

В программе FLUENT для учета влияния шероховатости подстилающей поверхности следует задать два параметра — высоту шероховатости  $z_0$  и константу шероховатости  $C_z$ . Соотношение, связывающее аэродинамическую шероховатость  $y_0$  с  $z_0$ , имеет вид [3]:

$$z_0 = \frac{9,793 y_0}{C_z}. \quad (12)$$

Значение аэродинамической шероховатости для поверхности пролива  $y_0 = 0,001$  м [4], для поверхности, прилегающей к проливу (равнинная местность, сельскохозяйственные угодья),  $y_0 = 0,025$  м [4]. Таким образом, при расчете принимали  $C_z = 1$ , высоту шероховатости для поверхности пролива  $z_{0l} = 0,0098$  м и для прилегающей территории —  $z_0 = 0,245$  м.

При использовании пристеночных функций требуется, чтобы расстояние от стенки до соседнего узла расчетной сетки удовлетворяло условию  $y_p > z_0$  (рис. 1). Учитывая данное обстоятельство, вертикальный размер пристенных ячеек со стороны атмосферы задавали равным 0,5 м.

Тепловой поток, подводимый от подстилающей поверхности к жидкой фазе ( $q_s = \lambda_s(\partial T_s / \partial y)_{y=0}$ ), определялся из численного решения трехмерного нестационарного уравнения теплопроводности для твердого слоя:

$$C_s \rho_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \lambda_s \left( \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} \right), \quad (13)$$

где  $T_s(x, y, z)$  — распределение температур в подстилающем слое;

$C_s, \rho_s, \lambda_s$  — теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности твердого материала соответственно.

При решении уравнения (12) на твердой поверхности, прилегающей к проливу, задавалось условие  $T_s = T_l$ .

Тепловой поток из атмосферы  $q_a$  вычислялся с помощью пристеночных функций [1].

Для учета дополнительного нагрева воздуха вследствие конденсации водяного пара использовалась функция источникового члена:

- в уравнении энергии:

$$Q_v = \frac{\psi(T) C_v \rho \Delta H_V}{\Delta \tau}; \quad (14)$$

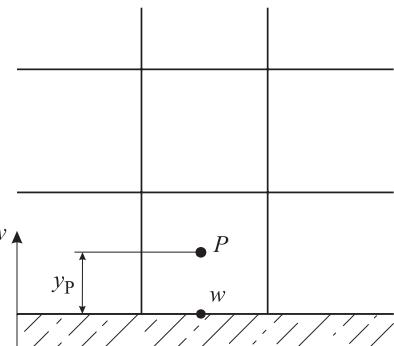


Рис. 1. Расположение пристеночного узла расчетной сетки

- в уравнении переноса компонента (паров воды):

$$S = -\frac{\psi(T) C_v \rho \Delta H_V}{\Delta \tau}; \quad (15)$$

где  $\psi(T)$  — функция, определяющая долю сконденсированной влаги;

$$\psi(T) = \begin{cases} 0, & T \geq T_d; \\ \frac{C_V - C_{Vd}}{C_V}, & 273,15 \leq T < T_d; \\ 1, & T < 273,15 \text{ К}; \end{cases} \quad (16)$$

$T$  — температура паровоздушной среды, К;

$T_d$  — температура точки росы при данном парциальном давлении паров воды в паровоздушной смеси, К;

$C_V$  — концентрация паров воды в воздухе, кг/кг;  $C_{Vd}$  — концентрация водяного пара, при которой он достигает насыщения при температуре  $T$ , кг/кг;

$\Delta \tau$  — шаг по времени, с;

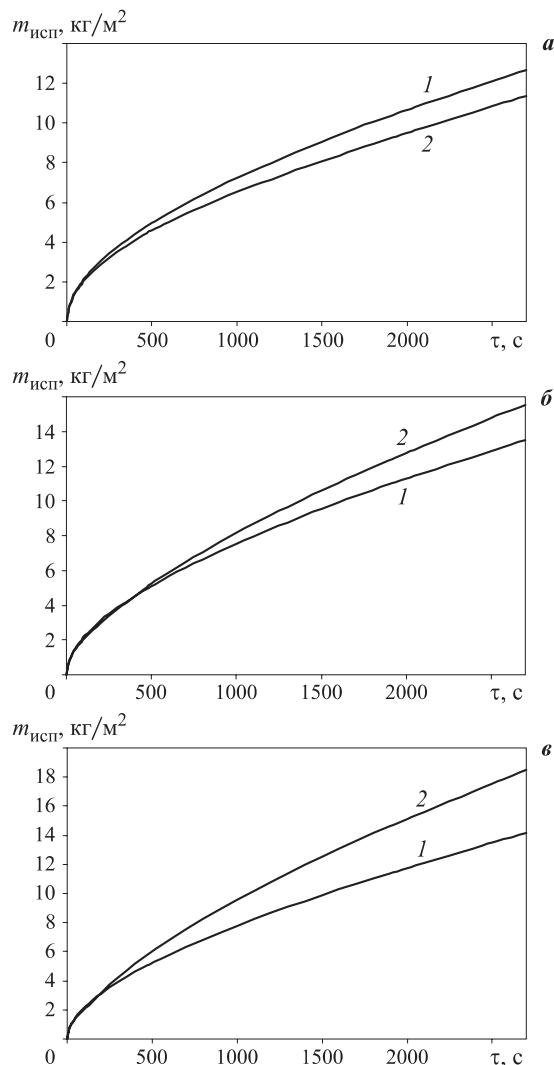
$\Delta H_V$  — теплота парообразования воды, Дж/кг.

## Результаты расчетов

Исходные данные для расчетов принимались следующие: сжиженный газ — бутан; начальная температура жидкости 272,65 К;  $\Delta H = 385600$  Дж/кг;  $C_{Pl} = 2300$  Дж/(кг·К);  $D_m = 9,44 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $Sc_t = 0,7$ ; размеры аварийного пролива 20 × 20 м; температура окружающей среды 311 К; скорость ветра варьировалась и имела значения 1, 2, 3 м/с на высоте 10 м; начальная толщина пролива 0,05 м; шероховатость поверхности пролива  $z_{0l} = 0,01$  м; шероховатость поверхности территории, прилегающей к проливу,  $z_0 = 0,25$  м. Свойства твердого материала:  $\lambda_s = 1,28$  Вт/(м·К);  $C_s = 1130$  Дж/(кг·К);  $\rho_s = 2300$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta H_V = 2,45 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Проводилось сравнение результатов расчета удельной массы испарившегося бутана  $m_{исп}$ , полученных с использованием разработанной модели и формулы [5]:

$$m_{исп} = \frac{(T_s - T_l)}{\Delta H} \left( 2\lambda_s \sqrt{\frac{\tau}{\pi a}} + \frac{5,1\sqrt{\text{Re}} \lambda_a \tau}{d} \right), \quad (17)$$

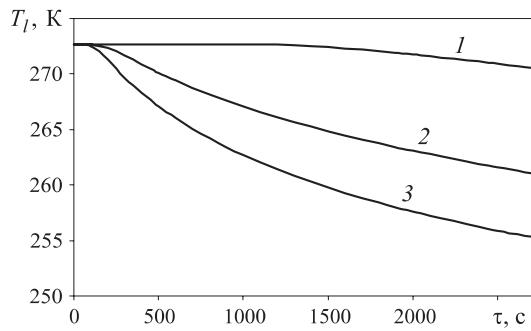


**Рис. 2.** Зависимость удельной массы  $m_{исп}$  испарившегося бутана от времени  $\tau$  при скорости ветра: *a* — 1 м/с; *б* — 2 м/с; *в* — 3 м/с; 1 — по численному методу; 2 — по формуле (17)

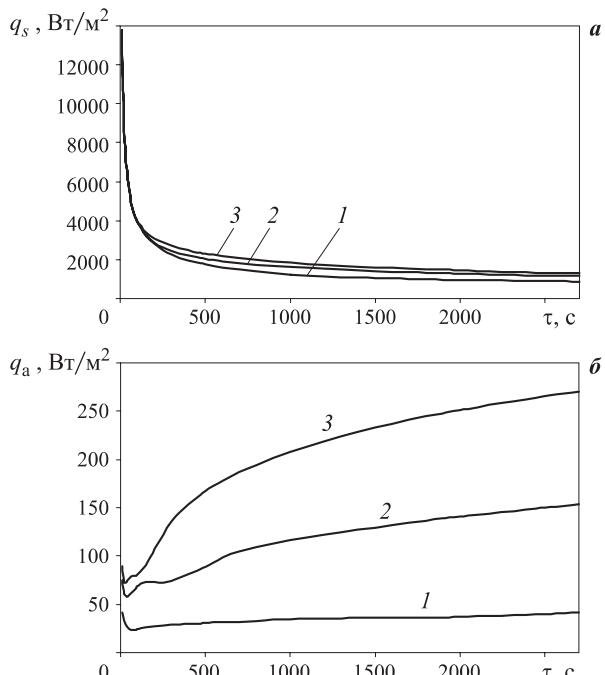
где  $a$  — эффективный коэффициент температуропроводности материала, на поверхность которого произошел разлив вещества,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $\text{Re}$  — число Рейнольдса;  $\text{Re} = Ud/v_a$ ;  
 $U$  — скорость воздушного потока,  $\text{м}/\text{с}$ ;  
 $d$  — характерный размер пролива СУГ,  $\text{м}$ ;  
 $v_a$  — кинематическая вязкость воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $\lambda_a$  — коэффициент теплопроводности воздуха,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

На рис. 2 представлены зависимости удельной массы испарившейся жидкости  $m_{исп}$  от времени  $\tau$  при заданных скоростях ветра, полученные по разработанной модели и с использованием формулы (17).

Значения  $m_{исп}$ , рассчитанные по численной модели, при скорости ветра 1 м/с ниже, а при скоростях 2 и 3 м/с выше соответствующих значений, определенных по формуле (17). Это объясняется тем, что в формуле (17) не учитывается переход к диффу-



**Рис. 3.** Изменение температуры сжиженного бутана  $T_l$  во времени  $\tau$ : 1, 2, 3 — скорость ветра соответственно 1; 2 и 3 м/с



**Рис. 4.** Зависимость тепловых потоков  $q_s$  и  $q_a$  от времени  $\tau$ : *a* — от подстилающей поверхности; *б* — из атмосферы; 1, 2, 3 — скорость ветра соответственно 1; 2 и 3 м/с

ционному режиму испарения, который имеет место на поздних стадиях процесса парообразования при высоких скоростях ветрового потока, когда диффузионный поток превышает тепловые потоки от подстилающей поверхности и воздуха. При этом различие в значениях за рассматриваемый промежуток времени составляет: при скорости ветра 1 м/с — не более 10 %; 2 м/с — не более 13 %; 3 м/с — не более 23 %. При прочих равных условиях удельная масса испарившегося бутана тем выше, чем больше скорость ветра. Так, при скорости ветра 3 м/с величина  $m_{исп}$  за рассматриваемый промежуток времени примерно на 38 % выше, чем при скорости ветра 1 м/с.

На рис. 3 представлены зависимости температуры жидкости от времени, полученные по численной

модели. При низкой скорости ветра (1 м/с) температура в течение длительного времени не изменяется, так как суммарный теплоприток из окружающей среды превосходит теплоотвод вследствие диффузионного испарения. При скоростях ветра 2 и 3 м/с температура начинает снижаться через 100 и 60 с соответственно.

На рис. 4 показано изменение тепловых потоков от подстилающей поверхности и атмосферы к жидкой фазе во времени  $\tau$ . В режиме кипения при рассматриваемых скоростях ветра значения  $q_s$  совпадают. Снижение температуры жидкости при переходе к диффузионному режиму испарения обуславливает более высокие значения  $q_s$  при скоростях ветра 2 и 3 м/с, чем при 1 м/с. Увеличение  $q_a$  со временем связано с повышением температурного градиента со стороны атмосферы.

Доля теплопритока из атмосферы в суммарном теплопритоке за рассматриваемый промежуток времени составляет не более 4,5 % при скорости ветра 1 м/с, 11,6 % — 2 м/с, 17,2 % — 3 м/с.

### Заключение

Проведена оценка влияния метеорологических условий на процесс парообразования сжиженного бутана при аварийном проливе. Установлено, что при высоких скоростях ветра происходит переход от режима кипения к режиму диффузионного испарения, сопровождающегося падением температуры жидкости ниже температуры кипения. Данный фактор не учитывается в рамках существующих нормативных методик. Показано, что теплоприток из атмосферы по сравнению с теплопритоком от подстилающей поверхности к сжиженному газу незначителен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fluent Inc. Fluent 6.1. User's Guide, Lebanon, 2003.
2. Померанцев В. В., Арефьев К. М., Ахмедов Д. Б. Основы практической теории горения. — Л. : Энергоатомиздат, 1986. — 312 с.
3. Blocken B., Stathopoulos T., Carmeliet J. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems // Atmospheric Environment. — 2007. — Vol. 41. — Issue 2. — P. 238–252.
4. РД 03-26-2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ : утв. приказом Ростехнадзора 14 декабря 2007 г. № 859 // Экологические ведомости. — 2008. — № 4.
5. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 2000–01–01. — М. : Изд-во стандартов, 1998.

Материал поступил в редакцию 15 ноября 2010 г.  
Электронный адрес авторов: starovojtova@inbox.ru.

**А. Г. Виноградов**

канд. физ.-мат. наук, доцент,  
начальник кафедры Академии пожарной  
безопасности им. Героев Чернобыля,  
г. Черкассы, Украина

УДК 533.6.011.6:614.628

## УЧЕТ ВТОРИЧНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПЫЛЕННЫХ ВОДЯНЫХ СТРУЙ

Представлена одномерная математическая модель движения однородного потока одинаковых сферических капель жидкости в воздушной среде. Получены расчетные формулы для определения пространственного распределения скоростей капель и воздуха и для равновесной скорости их установившегося движения. Выполнены численные расчеты и представлены графические зависимости.

**Ключевые слова:** распыленные водяные струи; воздушные потоки; теоретический расчет.

### Введение

В последние годы большое внимание уделяется использованию распыленных водяных струй для тушения пожаров и для экранирования конвективных и лучистых тепловых потоков. В опубликованных ранее работах [1–3] приведена математическая модель для анализа процесса формирования распыленных струй (водяных завес) и движения капель в воздушной среде. Однако заложенные при создании этой модели упрощения могут стать причиной неадекватности данной модели объекту исследования. В частности, параметры траекторий движения капель рассчитываются для неподвижной воздушной среды, что существенно упрощает математический аппарат, заложенный в основу модели. В то же время это приводит к существенным отклонениям результатов расчетов от реальных параметров, о чем свидетельствуют результаты исследования процесса формирования водяной завесы методом компьютерного моделирования с помощью программного комплекса FlowVision [4]. Результаты показали существенную роль в формировании распыленной струи процесса генерации воздушных потоков в результате вязкого взаимодействия подвижных капель с воздухом. Возникновение этих потоков, совпадающих с направлением движения капель, уменьшает тормозящее действие воздуха на капли и значительно увеличивает длину их траектории. На это указывает, в частности, следующий результат расчета в среде FlowVision: продольный размер

распыленной струи (длина траекторий движения капель) существенно зависит от массового потока воды и возрастает в несколько раз при его увеличении (при условии сохранения всех других параметров). При этом возрастают также скорость и размер возникающих внутри распыленной струи воздушных потоков. Следовательно, математическая модель распыленной струи должна учитывать явление генерации воздушного потока подвижными каплями, его влияние на длину траектории движения капель и его зависимость от начальных параметров потока капель (массовый поток, диаметр капель, начальная скорость).

В данной работе рассмотрена одномерная задача для однородного потока одинаковых сферических капель ограниченного сечения, без учета взаимодействия с неподвижным воздухом на границе распыленной струи и без учета гравитационных сил. Влияние указанных взаимодействий и других параметров потока будет рассмотрено при дальнейшей разработке математической модели в следующих работах.

### Постановка задачи

В работе поставлена задача исследовать движение однородного параллельного монодисперсного монокинетического потока сферических капель воды в воздушной среде и определить зависимость его скорости от пространственной координаты с учетом вязкого взаимодействия подвижных капель

с воздухом. Необходимо рассмотреть ограниченный в пространстве поток капель (водяную завесу), но без учета градиента скорости на границе потока (пограничного слоя) и связанной с ним силы трения со стороны окружающего неподвижного воздуха. Кроме того, для упрощения геометрии данной задачи не учитывается действие гравитационных сил, вследствие чего траектории движения капель представляют собой прямые линии.

### Математическое моделирование

Предварительный расчет выполним для единичной капли в неподвижном воздухе. Это даст возможность сравнить полученную зависимость с общим случаем, в котором учитывается движение воздуха, вызванное взаимодействием последнего с большим количеством подвижных капель.

Будем считать, что направление движения капли совпадает с направлением оси  $y$ , начальная скорость капли (при  $y = 0$ ) равняется  $v_0$ .

Для определения зависимости скорости единичной капли  $v_1$  от координаты  $y$  используем приближение постоянного аэродинамического коэффициента  $C$  (см., например, [5]). При отсутствии гравитации уравнение движения капли имеет вид:

$$m_k \frac{dv_1}{dt} = -R_1, \quad (1)$$

где  $m_k$  — масса капли;

$R_1$  — сила сопротивления воздуха;

$$R_1 = CpS = C \frac{\rho_{вд} v_1^2}{2} \frac{\pi d^2}{4}; \quad (2)$$

$p$  — аэродинамическое давление;

$S$  — площадь миделевого сечения капли;

$\rho_{вд}$  — плотность воздуха;

$d$  — диаметр капли.

Аэродинамический коэффициент для сферической капли  $C = 0,5$ .

Масса капли  $m_k$  определяется по формуле

$$m_k = \rho_{вд} \pi d^3 / 6, \quad (3)$$

где  $\rho_{вд}$  — плотность воды.

После решения уравнения движения (1), перейдя от зависимости от времени к зависимости от координаты  $y$ , найдем текущую скорость единичной капли в неподвижном воздухе:

$$v_1 = v_0 e^{-\frac{3 \rho_{вд} C}{4 \rho_{вд} d} y}. \quad (4)$$

Далее рассмотрим движение однородного параллельного монодисперсного монокинетического потока сферических капель воды в воздушной среде (рис. 1). Направление движения капель совпадает с направлением оси  $y$ , генерация потока (его ввод в воздушное пространство) происходит в плоскости

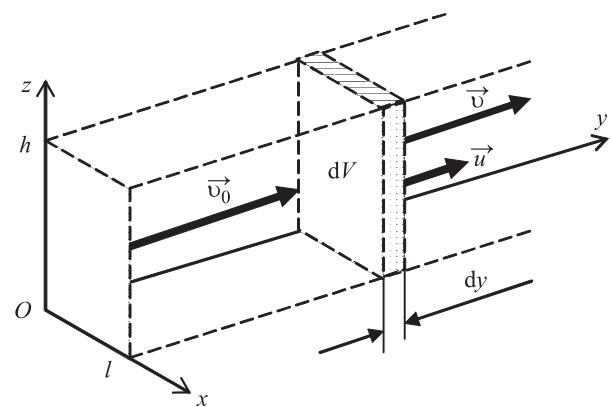


Рис. 1. Геометрия движения капель

$xOz$  при  $y = 0$ . Поперечное сечение потока имеет прямоугольную форму размером  $l \times h$ . Скорости воздуха и капель обозначим соответственно  $u$  и  $v$ . Начальная скорость капель (при  $y = 0$ ) равняется  $v_0$ , начальная скорость воздуха равняется нулю. Процесс будем считать стационарным.

Сила сопротивления воздуха, действующая на каплю, зависит от скорости капли относительно воздуха, поэтому для данного случая выражение (2) для нее примет следующий вид:

$$R = \frac{\pi}{8} C \rho_{вд} d^2 (v - u)^2. \quad (5)$$

С учетом (3) и (5) получим уравнение движения в виде

$$\rho_{вд} \frac{\pi d^3}{6} \frac{dv}{dt} = -\frac{\pi}{8} C \rho_{вд} d^2 (v - u)^2,$$

откуда

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{3C\rho_{вд}}{4\rho_{вд} d} (v - u)^2. \quad (6)$$

Далее рассмотрим движение воздуха. Для элементарного объема  $dV$  воздуха толщиной  $dy$  (см. рис. 1) уравнение движения имеет вид:

$$dm_{вд} \frac{du}{dt} = dF, \quad (7)$$

где масса воздуха

$$dm_{вд} = \rho_{вд} dV = \rho_{вд} h l dy, \quad (8)$$

а сила вязкого взаимодействия воздуха с каплями

$$dF = R dN. \quad (9)$$

Количество капель в элементарном объеме

$$dN = n dV = n h l dy. \quad (10)$$

Концентрацию капель  $n$  найдем через массовый поток капель  $M$  (масса капель за единицу времени). Массу капель за время  $dt$  определим по уравнению

$$M dt = m_k dN = \rho_{вд} \frac{\pi d^3}{6} n h l dy.$$

Отсюда, учитывая, что

$$dy = v dt, \quad (11)$$

найдем:

$$n = \frac{6M}{\pi d^3 \rho_{\text{вд}} h l v}. \quad (12)$$

Учитывая (5), (8) – (12), из (7) найдем:

$$\frac{du}{dt} = \frac{3CM(v-u)^2}{4\rho_{\text{вд}} h l v}. \quad (13)$$

Уравнения (6) и (13) образуют систему дифференциальных уравнений относительно неизвестных функций  $v(t)$  и  $u(t)$ . Выразим первую функцию через вторую. Разделим (6) на (13):

$$\frac{dv}{du} = -\frac{\rho_{\text{вд}} h l v}{M}.$$

Отсюда после разделения переменных и интегрирования получим:

$$v = v_0 e^{-\frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} u} \quad (14)$$

или

$$u = \frac{M}{\rho_{\text{вд}} h l} \ln \frac{v_0}{v}. \quad (15)$$

Из уравнений (6) и (13) можно увидеть, что производные от функций  $v(t)$  и  $u(t)$  стремятся к нулю при  $v \rightarrow u$ , т. е. при приближении значений обеих функций к определенному предельному значению  $v_{\text{пр}} = u_{\text{пр}}$ . Физически это можно объяснить следующим образом. Подвижные капли тормозятся воздухом, одновременно передавая ему часть своего импульса. Капли замедляют свое движение, ускоряя при этом движение воздуха. Оба потока стремятся к равновесному состоянию, при котором они приобретают одинаковую равновесную скорость:  $v_{\text{пр}} = u_{\text{пр}}$ . Эта скорость является асимптотической величиной, к которой функции  $v(t)$  и  $u(t)$  стремятся при  $t \rightarrow \infty$  и, соответственно, при  $y \rightarrow \infty$ .

Предельное значение скорости капель найдем из соотношения (14), подставив в него вместо  $v$  и  $u$  величину  $v_{\text{пр}}$ :

$$v_{\text{пр}} = v_0 e^{-\frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_{\text{пр}}}.$$

Преобразуем это уравнение:

$$\frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_{\text{пр}} e^{\frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_{\text{пр}}} = \frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_0,$$

или

$$\xi e^\xi = a, \quad (16)$$

где

$$\xi = \frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_{\text{пр}}; \quad (17)$$

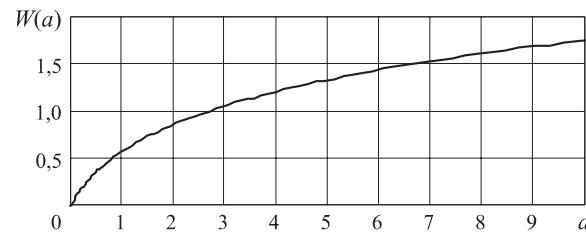


Рис. 2. График функции Ламберта

$a$  — аргумент функции Ламберта;

$$a = (\rho_{\text{вд}} h l / M) v_0. \quad (18)$$

Решением уравнения (16) является функция Ламберта  $W(a)$  [6]:

$$\xi = W(a).$$

График действительных положительных значений функции Ламберта представлен на рис. 2.

Учитывая (17) и (18), через значение функции Ламберта можно определить равновесную скорость капель:

$$v_{\text{пр}} = \frac{M}{\rho_{\text{вд}} h l} W\left(\frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_0\right). \quad (19)$$

Для определения зависимостей скорости капель и скорости воздуха от координаты  $y$  преобразуем уравнение (6) с учетом соотношений (11) и (15):

$$\frac{v dv}{\left(v - \frac{M}{\rho_{\text{вд}} h l} \ln \frac{v_0}{v}\right)^2} = -\frac{3C\rho_{\text{вд}}}{4\rho_{\text{вд}} d} dy.$$

Интегрирование данного уравнения позволяет найти зависимость скорости капель  $v(y)$  в виде обратной функции:

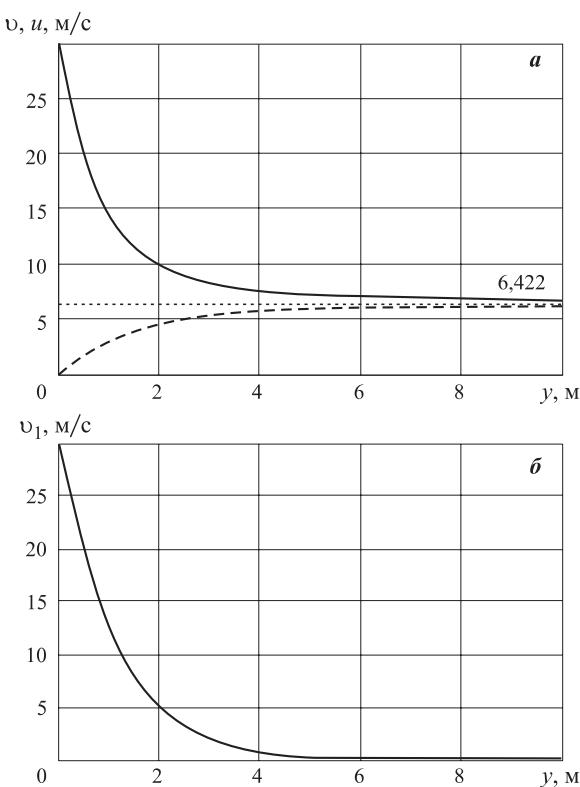
$$y(v) = \frac{4\rho_{\text{вд}} d}{3C\rho_{\text{вд}}} \int_v^{v_0} \frac{v dv}{\left(v - \frac{M}{\rho_{\text{вд}} h l} \ln \frac{v_0}{v}\right)^2}. \quad (20)$$

По найденной таким образом зависимости  $v(y)$  далее можно определить зависимость скорости воздуха  $u(y)$  с помощью соотношения (15). Соответствующие расчеты целесообразно выполнять с использованием пакетов компьютерных программ.

Приведем пример такого расчета для типовых параметров распыленной струи (водяной завесы):  $M = 1 \text{ кг}/\text{с}$ ;  $d = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ ;  $v_0 = 30 \text{ м}/\text{с}$ ;  $h = 1 \text{ м}$ ;  $l = 0,2 \text{ м}$ ;  $\rho_{\text{вд}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{вд}} = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

С помощью формулы (19) найдем равновесную скорость капель. Вычислим аргумент функции Ламберта (18):

$$a = \frac{\rho_{\text{вд}} h l}{M} v_0 = 7,2.$$



**Рис. 3.** Зависимости скоростей от координаты  $y$ : *а* — скорости капель (—) и воздуха (---); *б* — скорости капли в неподвижном воздухе

Определим значение функции Ламберта (например, используя операторы Given-Find пакета прикладных программ MathCAD):  $W(7,2) \approx 1,5414$ .

После вычисления по формуле (19) найдем:

$$v_{\text{пр}} = 6,422 \text{ м/с.}$$

Далее определим графические зависимости скоростей капель и воздуха от пространственной координаты.

На рис. 3, *а* представлены графики зависимостей  $v(y)$  и  $u(y)$ , построенные при заданных выше параметрах с помощью формул (20) и (15), на рис. 3, *б* — график зависимости скорости единичной капли в неподвижном воздухе (см. (4)) для тех же значений параметров. Графики получены с помощью пакета MathCAD. Эти зависимости можно также представить в виде таблиц.

Графики на рис. 3, *а* позволяют сделать вывод, что распыленная струя с заданными параметрами за-

медляется почти до равновесной скорости уже на расстоянии 3–4 м от ее источника и дальше двигается практически с постоянной скоростью  $v_{\text{пр}} = 6,422 \text{ м/с}$ , равной скорости воздушного потока.

Зависимость скорости капли в неподвижном воздухе (см. рис. 3, *б*) является подобной зависимости на рис. 3, *а* с той лишь разницей, что при росте координаты она асимптотически стремится к нулю, а не к постоянному значению  $v_{\text{пр}}$ .

Отсюда можно сделать вывод, что для расчетов траекторий движения капель распыленных водяных струй учет воздушных потоков, генерируемых этими струями, практически не влияет на начальный участок траектории, где скорость капли существенно превышает скорость воздуха. Что же касается более отдаленного участка траектории, то без учета воздушных потоков ее расчет приведет к значительной погрешности, величина которой зависит от параметров, определяющих аргумент функции Ламберта ( $v_0, M, h, l$ ).

## Выводы

В работе выполнен теоретический анализ процесса генерации воздушного потока подвижными каплями воды в пределах распыленной водяной струи и определено влияние этого процесса на параметры движения капель. Разработан метод расчета зависимостей скоростей капель и воздуха от пространственной координаты. Выполнены численные расчеты и получены графические зависимости для конкретного примера. Математическая модель построена для самого простого одномерного случая однородного потока одинаковых сферических капель ограниченного сечения, без учета взаимодействия с неподвижным воздухом на границе распыленной струи и без учета гравитационных сил.

Следующим этапом данной работы должно быть совершенствование математической модели с целью расширения ее возможностей и учета влияния внешних сил (неоднородный поток, влияние трения на границе струи, влияние гравитации и т. п.). Выполненные в данной работе исследования могут быть использованы для построения общей математической модели распыленных водяных струй и их взаимодействия с окружающей средой в очаге пожара.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А. Г. Розрахунки траєкторій параметрів крапель водяної завіси у вертикальній площині // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. — 2008. — № 53. — С. 84–88.
2. Виноградов А. Г. Розрахунок векторного поля швидкостей крапель водяної завіси // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2008. — № 2 (49). — Ч. 2. — С. 42–44.

3. Виноградов А. Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 45–49.
4. Виноградов А. Г. Моделювання процесу формування водяної завіси за допомогою програмного комплексу FlowVision // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. — Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. — № 6. — С. 19–25.
5. Севриков В. В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. — Киев – Донецк : Вища школа, 1979. — 188 с.
6. Дубинов А. Е., Дубинова И. Д., Сайков С. К. W-функция Ламберта и ее применение в математических задачах физики : учеб. пособие для вузов. — Саров : ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2006. — 160 с.

*Материал поступил в редакцию 12 января 2011 г.  
Электронный адрес автора: vin\_ag@mail.ru.*



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

## ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



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

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

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

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



С. П. Калмыков

научный сотрудник учебно-научного комплекса  
проблем пожарной безопасности в строительстве  
Академии Государственной противопожарной  
службы МЧС России, г. Москва, Россия

УДК 614.841

## ВЛИЯНИЕ ПЛОЩАДИ И КОЛИЧЕСТВА ДЫМОПРИЕМНЫХ ОТВЕРСТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА УДАЛЯЕМЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАКРЫТЫХ АВТОСТОЯНOK

На основе математического моделирования проведено исследование влияния площади и количества дымоприемных отверстий в зависимости от расхода удаляемых продуктов горения на эффективность работы импульсной противодымной вентиляции закрытых автостоянок. Установлены значения суммарной площади дымоприемных отверстий и расхода удаляемых продуктов горения из помещения автостоянки.

**Ключевые слова:** струйная противодымная вентиляция; противодымная защита; закрытые автостоянки.

В последнее десятилетие из-за быстрого роста автомобильного парка крупных городов России введение объектов транспортного назначения приобрело масштабный характер. Для строительства многоуровневых автостоянок зачастую используются подземные пространства жилых и общественных зданий. В связи с высокой пожарной опасностью этих объектов их противопожарной защите уделяется серьезное внимание. Система противодымной защиты является одной из систем, играющих ключевую роль в противопожарной защите подобных объектов.

В традиционной системе дымоудаления для перемещения дыма к шахтам используются воздуховоды. Наличие воздуховодов большого сечения является существенным недостатком такой системы.

За рубежом в автостоянках наряду с классической системой дымоудаления с использованием воздуховодов применяется импульсная (или струйная) система дымоудаления (рис. 1).

На эффективность работы системы импульсной противодымной вентиляции в помещении автостоянки влияют многие факторы, такие как мощность тепловыделения очага пожара, дымообразующая способность пожарной нагрузки, количество, расположение и проектные параметры струйных вентиляторов, расположение и геометрические размеры дымоприемных и приточных отверстий, производительность вытяжных и приточных вентиляторов,

конфигурация и геометрические параметры помещения автостоянки и др.

В нормативных документах, действующих в Российской Федерации и за рубежом, а также в доступных литературных источниках отсутствуют требования и сведения о влиянии вышеуказанных факторов на эффективность работы струйной вентиляции.

В рамках представленной статьи проведено исследование влияния суммарной площади и количества дымоприемных отверстий в зависимости от расхода продуктов горения, удаляемых из помещения автостоянки, на эффективность работы импульсной противодымной вентиляции. В качестве ин-



Рис. 1. Схема импульсной противодымной вентиляции

© Калмыков С. П., 2011

струмента исследования использовалась полевая модель пожара в помещении, реализованная при помощи программного комплекса FDS [1].

Основные уравнения математической модели приведены согласно [1]:

- неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = m_b''';$$

- движения:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \nabla \cdot \rho uu + \nabla p = \rho g + f_b + \nabla \cdot \tau_{ij};$$

- энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s u = \frac{Dp}{Dt} + q''' - q_b''' - \nabla \cdot q'' + \varepsilon;$$

- неразрывности для компонентов газовой среды:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_\alpha) + \nabla \cdot \rho Y_\alpha u = \nabla \cdot \rho D_\alpha \nabla Y_\alpha + m_\alpha''' + m_{b,\alpha}'''.$$

Для замыкания системы уравнений, выражающих законы сохранения, использовалось уравнение состояния идеального газа:

$$p = \rho RT \sum_\alpha \frac{Y_\alpha}{M_\alpha}.$$

Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась при помощи метода крупных вихрей LES (Large Eddy Simulation) [2].

Коэффициент турбулентной вязкости  $\mu_{LES}$  рассчитывается как

$$\mu_{LES} = \rho (C_S \Delta)^2 \left( 2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \bar{u})^2 \right)^{1/2}.$$

Коэффициенты турбулентной теплопроводности и турбулентной диффузии связаны с коэффициентом турбулентной вязкости  $\mu_{LES}$  уравнениями:

$$\lambda_{LES} = \frac{\mu_{LES} c_p}{Pr_t}; \quad (pD)_{l,LES} = \frac{\mu_{LES}}{Sc_t}.$$

Здесь  $\rho$  — плотность;  $t$  — время;  $\nabla$  — оператор Гамильтона;  $u$  — составляющая скорости;  $m_b'''$  — скорость образования газообразных или твердых химических компонентов;  $p$  — давление;  $g$  — ускорение свободного падения;  $f_b$  — источниковый член;  $\tau_{ij}$  — тензор вязких напряжений;  $h_s$  — энтальпия смеси газов;  $D$  — коэффициент диффузии;  $q'''$  — удельная скорость тепловыделения;  $q_b'''$  — энергия, затрачиваемая на газификацию горючего материала;  $q''$  — член уравнения, учитывающий конвективный и радиационный теплоперенос;  $\varepsilon$  — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности;  $Y_\alpha$  — массовая концентрация химического компонента;  $D_\alpha$  — коэффициент диффузии химического компонента;  $m_\alpha'''$  — удельная массовая скорость образования химиче-

ского компонента;  $m_{b,\alpha}'''$  — массовая скорость образования газообразных или твердых химических компонентов;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T$  — температура;  $M_\alpha$  — молярная масса;  $\mu_{LES}$  — коэффициент турбулентной вязкости;  $C_S$  — эмпирическая константа;  $\Delta$  — размер расчетной сетки;  $S_{ij}$  — тензор скоростей деформации;  $\lambda_{LES}$  — коэффициент турбулентной теплопроводности;  $c_p$  — удельная изобарная теплоемкость;  $D_{LES}$  — коэффициент турбулентной диффузии;  $Pr_t$  — турбулентное число Прандтля;  $Sc_t$  — турбулентное число Шмидта.

В качестве модели горения использовалась модель доли в смеси (mixture fraction) [3]. Лучистый теплообмен включен в модель посредством решения уравнения переноса излучения для серого газа [4]. Уравнение решается с помощью метода, аналогичного методу конечных объемов для конвективного переноса. Коэффициенты поглощения для сажи и дыма вычислены с помощью узкополосной модели RADCAL [5].

Расчеты проведены для реально проектируемой автостоянки в г. Москве, которая представляет собой трехэтажный подземный гараж.

Гараж по горизонтали разделен на два пожарных отсека: площадь первого — 1860 м<sup>2</sup>, второго — 2289 м<sup>2</sup>. Высота этажей автостоянки составляет 2,8 м.

Рассматривался больший по площади пожарный отсек типового этажа автостоянки, рассчитанный на 76 машиномест. На рис. 2 приведена схема моделируемого помещения закрытой автостоянки.

Размеры моделируемого помещения закрытой автостоянки составляют 62,0×36,8×2,8 м. В нем предполагалась установка 11 струйных вентиляторов в два ряда с расстоянием между параллельно располагаемыми вентиляторами 6 м, между последовательно располагаемыми — 24 м. Струйные вентиляторы принимались с размерами входных и выбросных патрубков 0,4×0,4 м. Скорость струй на выбросных патрубках струйных вентиляторов принималась 15 м/с. Очаг горения моделировался как

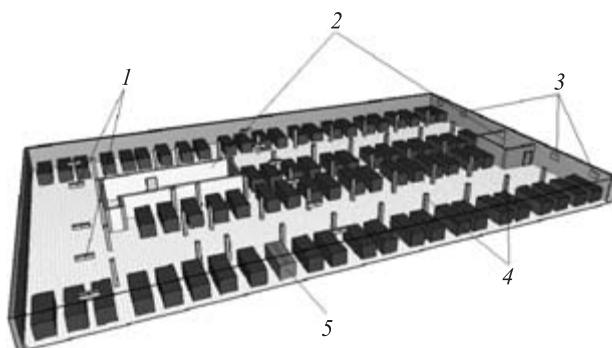


Рис. 2. Схема моделируемого помещения закрытой автостоянки: 1 — струйный вентилятор; 2 — лестничная клетка; 3 — дымоприемное отверстие; 4 — колонна; 5 — очаг горения

горелка размерами  $1,6 \times 4,0$  м с максимальной мощностью тепловыделения 4,0 МВт. Изменение мощности тепловыделения принято согласно экспериментальным данным [6].

В первой серии численных экспериментов количество дымоприемных отверстий принималось равным 8 с размерами  $2,0 \times 0,8$  м. Суммарный расход удаляемых продуктов горения принимался 100 000 и 150 000 м<sup>3</sup>/ч для каждого из вариантов численных экспериментов. Расход приточного воздуха составлял 70 % от удаляемого.

В этой серии расчетов исследовалась эффективность работы струйной противодымной вентиляции при большой суммарной площади дымоприемных отверстий ( $12,8 \text{ м}^2$ ).

На рис. 3–5 показаны поля дальности видимости и температур в горизонтальной плоскости на уровне 2,0 м от пола на момент времени 900 с от начала моделируемого процесса при расходе удаляемых продуктов горения 50 000, 100 000 и 150 000 м<sup>3</sup>/ч.

Из приведенных выше полей видно, что при расходе удаляемых продуктов горения 50 000 м<sup>3</sup>/ч

помещение автостоянки полностью задымляется, а повышенная температура (более 70 °C) отмечается на трети площади автостоянки; при расходе удаляемых продуктов горения 100 000 и 150 000 м<sup>3</sup>/ч ни задымления, ни повышенной температуры на уровне 2 м от пола почти не наблюдается.

Поскольку в первой серии расчетов было показано, что при расходе удаляемых продуктов горения 50 000 м<sup>3</sup>/ч система струйной противодымной вентиляции не обеспечивает удаления дыма из помещения автостоянки, во второй серии расчетов расход принимался 100 000 и 150 000 м<sup>3</sup>/ч. При этом площадь каждого дымоприемного отверстия уменьшалась до 0,96 м<sup>2</sup> (размеры  $1,2 \times 0,8$  м), а их количество варьировалось от 2 до 8.

На рис. 6 и 7 показаны поля дальности видимости и температуры в горизонтальной плоскости на уровне 2,0 м от пола на момент времени 900 с от начала моделируемого процесса при наличии 8 дымоприемных отверстий.

На рис. 8–9 показаны поля дальности видимости и температуры в горизонтальной плоскости на

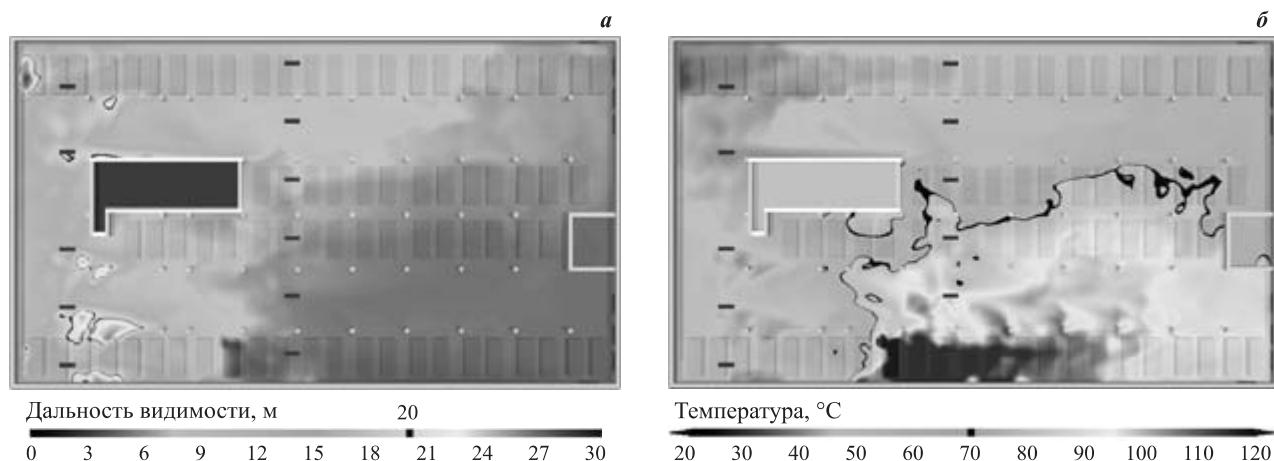


Рис. 3. Поля дальности видимости (а) и температуры (б):  $\tau = 900$  с;  $L = 50\ 000 \text{ м}^3/\text{ч}$

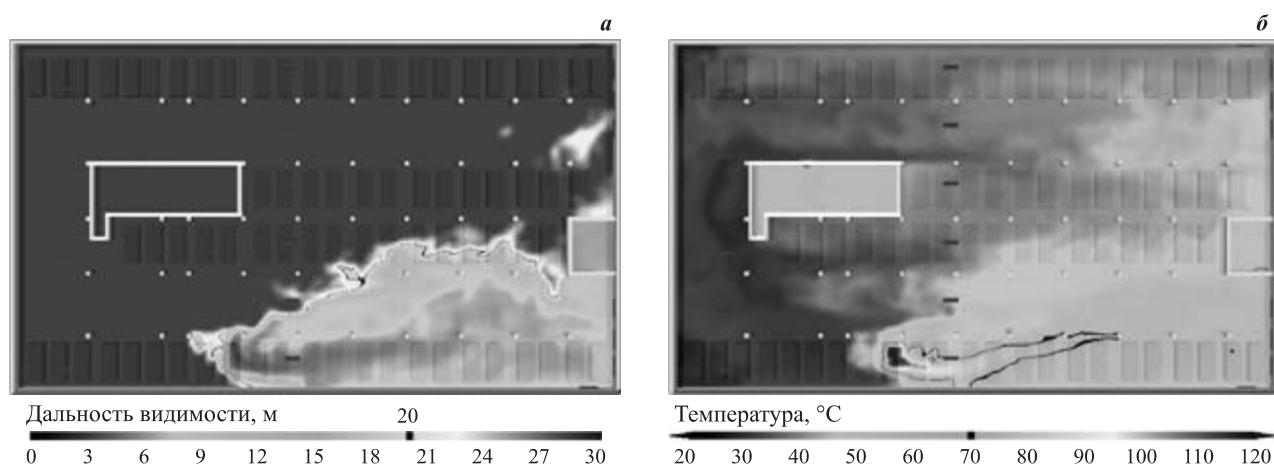


Рис. 4. Поля дальности видимости (а) и температуры (б):  $\tau = 900$  с;  $L = 100\ 000 \text{ м}^3/\text{ч}$

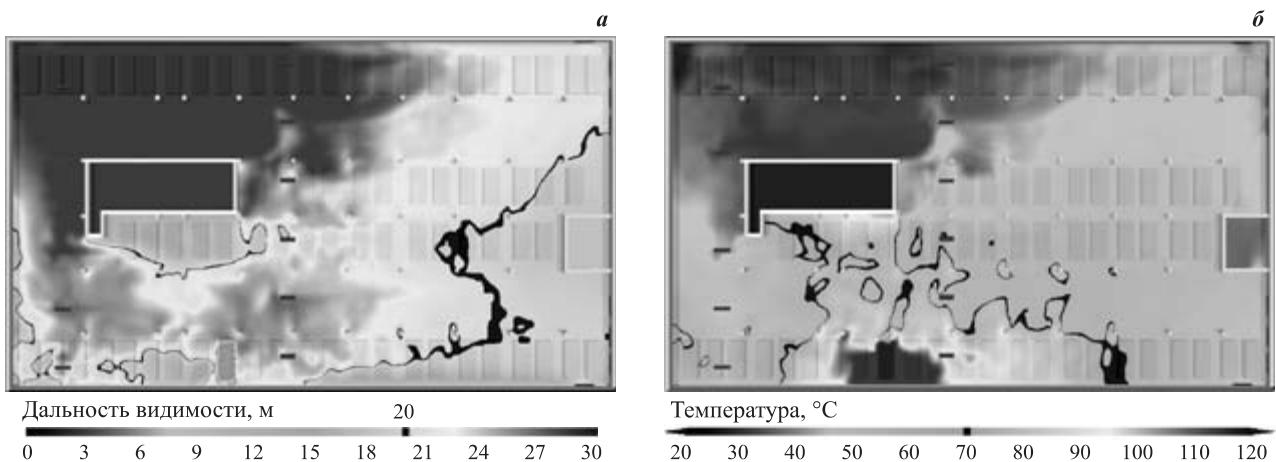


Рис. 5. Поля дальности видимости (*а*) и температуры (*б*):  $\tau = 900$  с;  $L = 150\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$

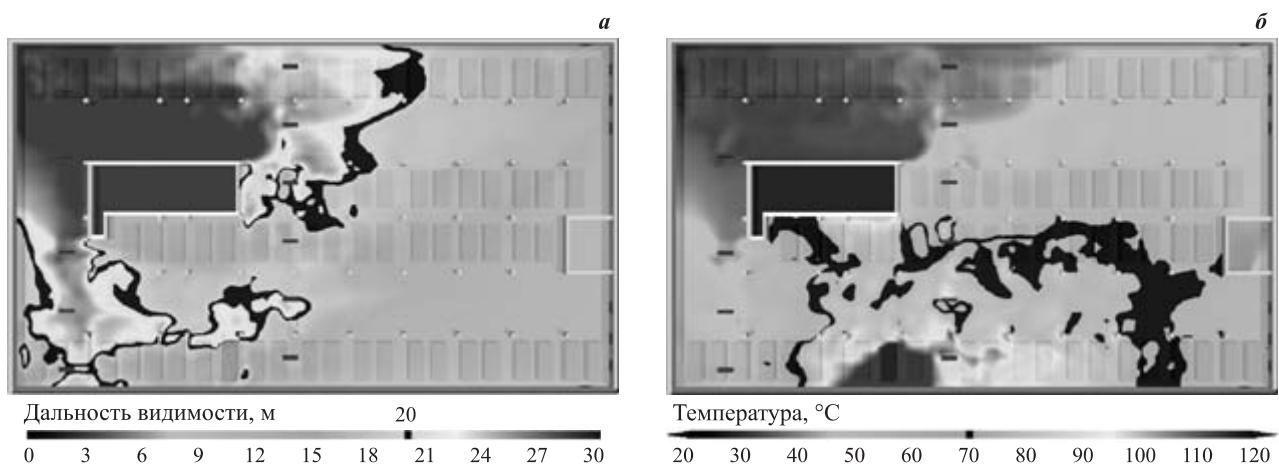


Рис. 6. Поля дальности видимости (*а*) и температуры (*б*):  $\tau = 900$  с;  $L = 100\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$  (8 дымоприемных отверстий)

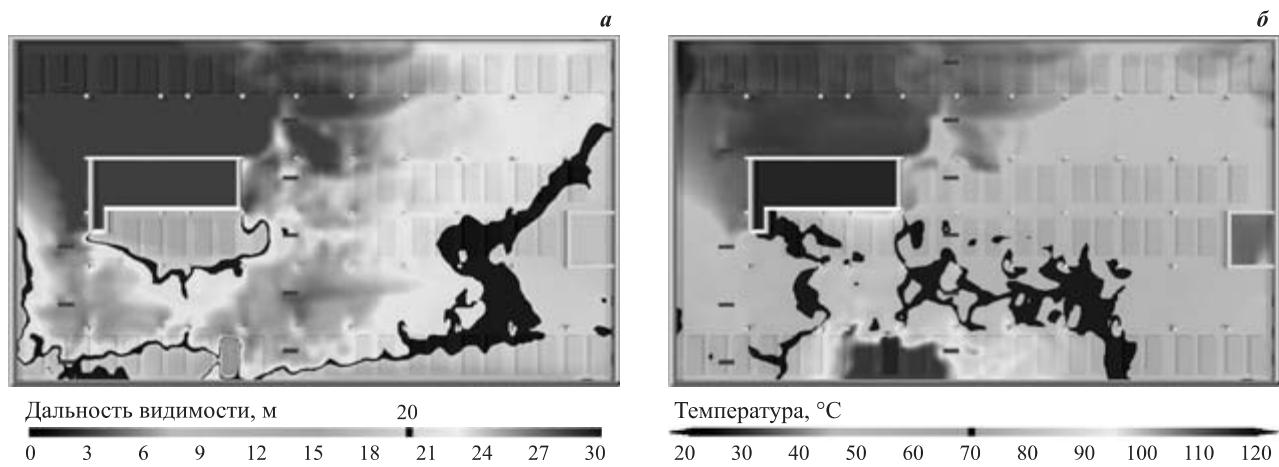


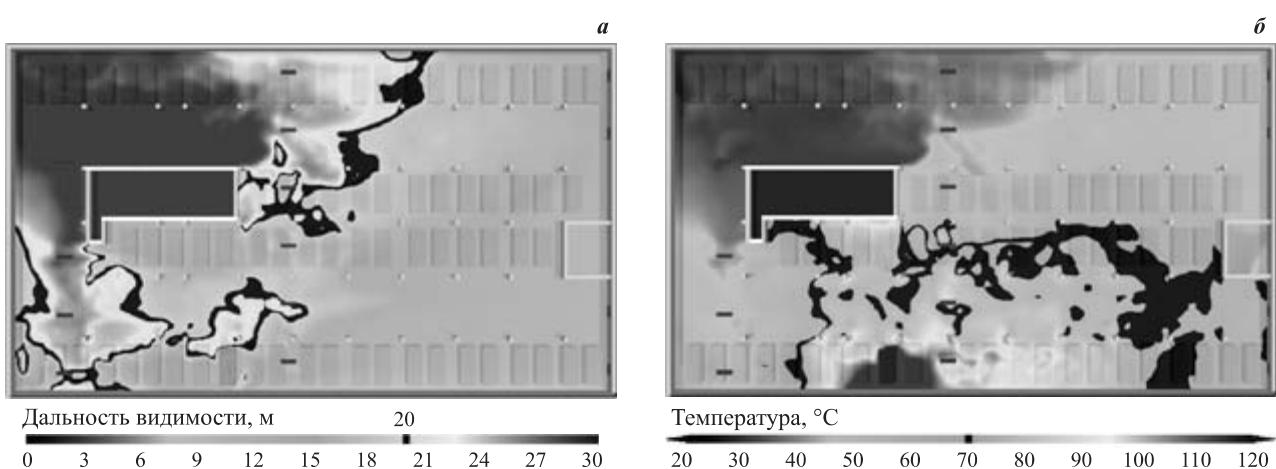
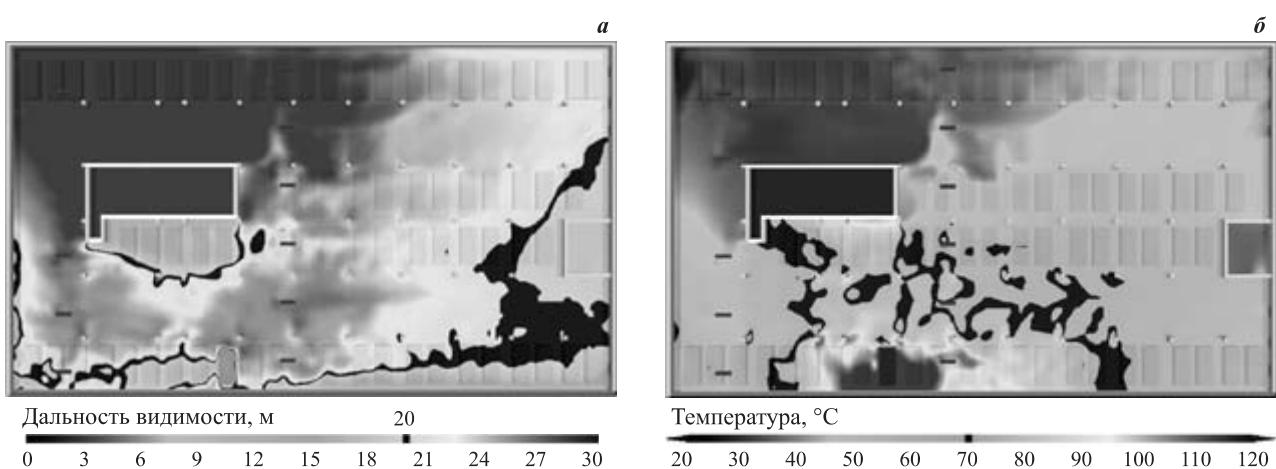
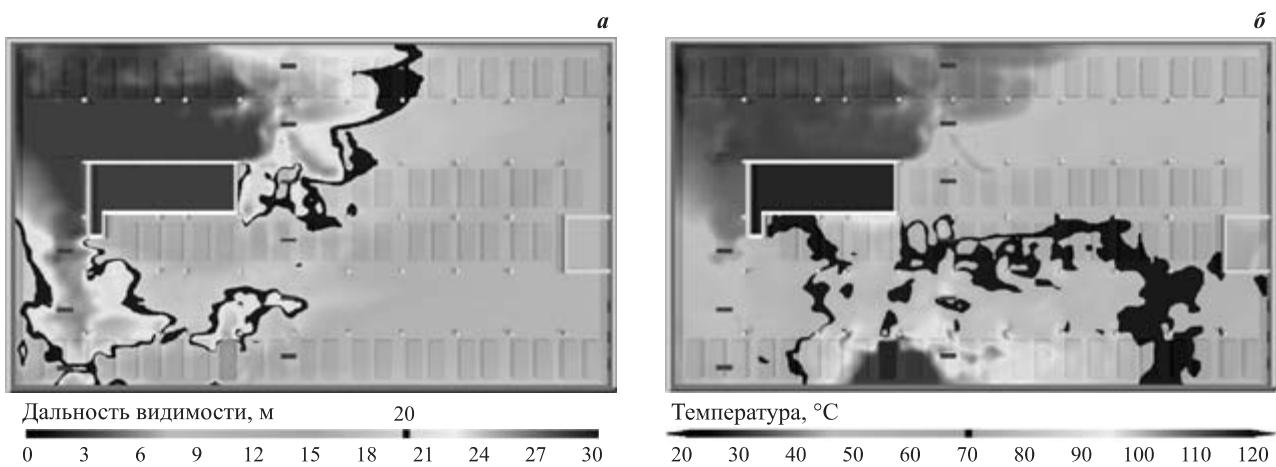
Рис. 7. Поля дальности видимости (*а*) и температуры (*б*):  $\tau = 900$  с;  $L = 150\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$  (8 дымоприемных отверстий)

уровне 2,0 м от пола на момент времени 900 с от начала моделируемого процесса при наличии 6 дымоприемных отверстий.

На рис. 10–11 показаны поля дальности видимости и температуры в горизонтальной плоскости

на уровне 2,0 м от пола на момент времени 900 с от начала моделируемого процесса при наличии 4 дымоприемных отверстий.

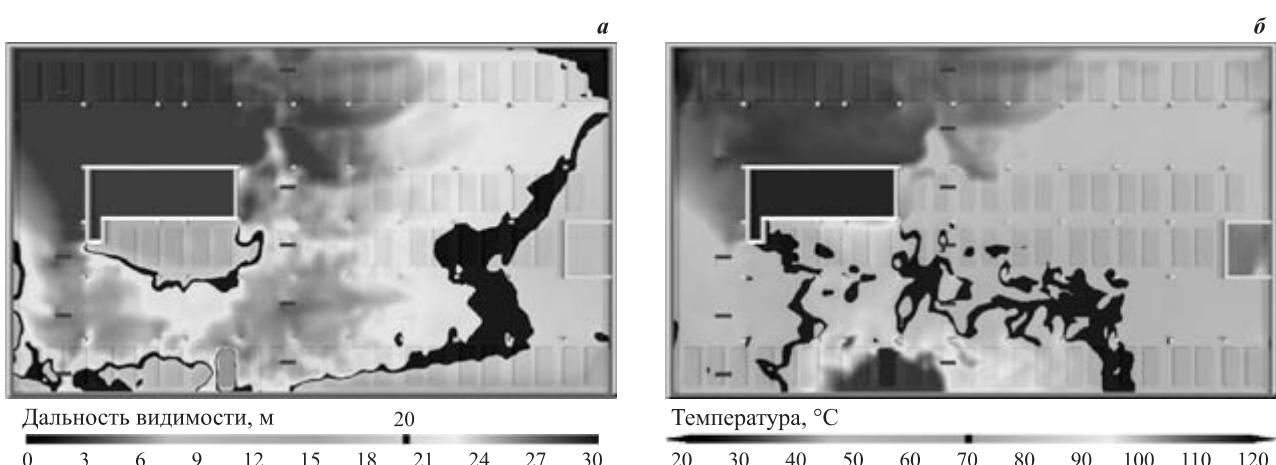
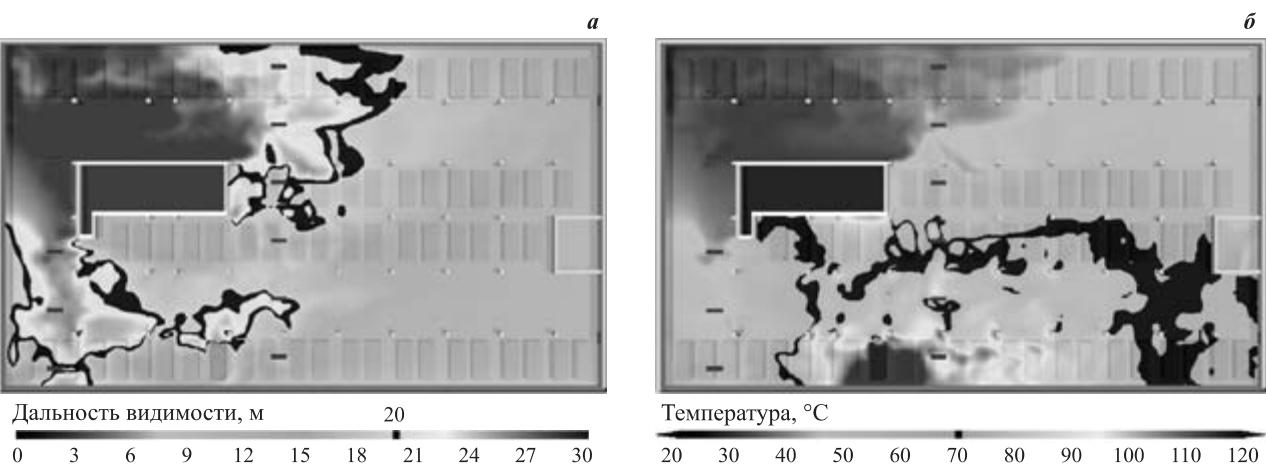
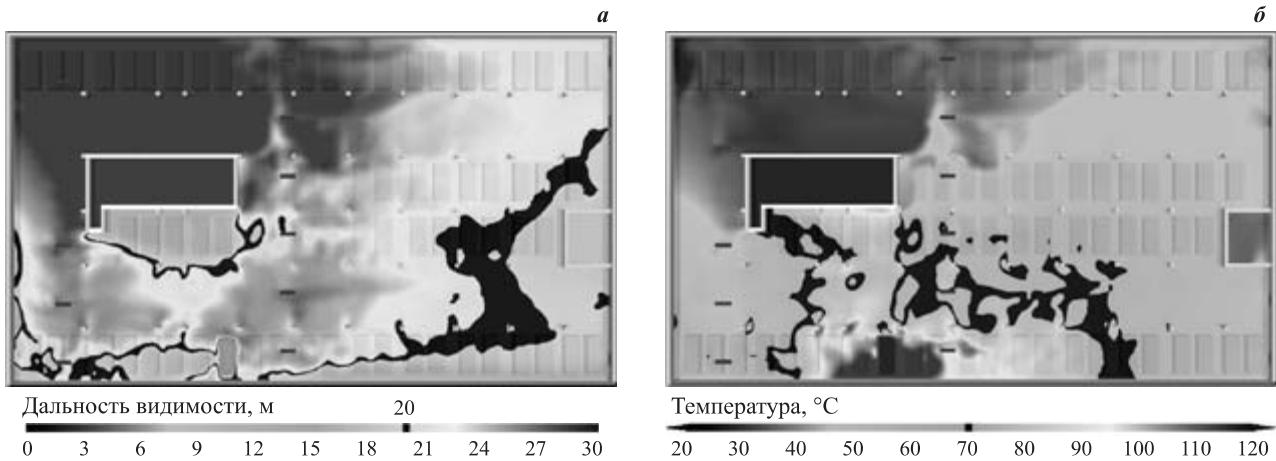
На рис. 12–13 показаны поля дальности видимости и температуры в горизонтальной плоскости



на уровне 2,0 м от пола на момент времени 900 с от начала моделируемого процесса при наличии 2 дымоприемных отверстий.

Из приведенных выше полей видно, что количество дымоприемных отверстий не оказывает значи-

тельного влияния на эффективность работы струйной противодымной вентиляции. Существенное влияние здесь оказывают суммарная площадь этих отверстий и расход удаляемых продуктов горения. Так, например, при уменьшении площади отверстий от



1,6 до 0,96 м<sup>2</sup> при их одинаковом количестве, равном восьми, и суммарном расходе удаляемых продуктов горения 100 000 м<sup>3</sup>/ч (см. рис. 4, а и 6, а) эффективность струйной противодымной вентиляции значительно снижается. При более высоком значе-

нии расхода удаляемых продуктов горения из помещения закрытой автостоянки, равном 150 000 м<sup>3</sup>/ч, уменьшение площади и количества дымоприемных отверстий не снижает эффективности струйной противодымной вентиляции.

## Выводы

1. Для эффективной работы струйной противодымной вентиляции автостоянки закрытого типа расход удаляемых продуктов горения из автостоянки закрытого типа следует предусматривать не менее  $100\ 000\ м^3/ч$ .
2. Суммарную площадь дымоприемных отверстий следует принимать исходя из расхода удаляемых продуктов горения: например, при расходе удаля-

емых продуктов горения  $100\ 000\ м^3/ч$  суммарная площадь дымоприемных отверстий должна составлять  $10\text{--}12\ м^2$ .

3. Увеличение расхода удаляемых продуктов горения из помещения автостоянки закрытого типа позволяет уменьшить суммарную площадь дымоприемных отверстий: например, при расходе удаляемых продуктов горения  $150\ 000\ м^3/ч$  суммарная площадь дымоприемных отверстий может быть уменьшена до  $2,0\ м^2$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. — Washington : National Institute of Standards and Technology, 2007. — NIST Special Publication 1018-5.
2. Smagorinsky J. General Circulation Experiments with the Primitive Equations. I. The Basic Experiment // Monthly Weather Review. — March 1963.— 91(3). — P. 99–164.
3. Raman V., Pitsch H., Fox R. O. Hybrid large-eddy simulation / Lagrangian filtered-density-function approach for simulating turbulent combustion // Combustion and Flame. — 2005. — Vol. 143. — P. 56–78.
4. Siegel R., Howell J. R. Thermal Radiation Heat Transfer. — 4th edition. — New York : Taylor & Francis, 2002.
5. Grosshandler W. RadCal: A Narrow Band Model for Radiation Calculations in a Combustion Environment // NIST Technical Note TN 1402. National Institute of Standards and Technology. — Gaithersburg, Maryland, 1993.
6. Steinert C. Experimental Investigation of Burning and Fire Jumping Behavior of Automobiles (in German) // VFDB. — Vol. 49. — P. 163–172.

Материал поступил в редакцию 15 декабря 2010 г.  
Электронный адрес автора: k\_sp@bk.ru.



**С. А. Бушманов**  
аспирант Московского государственного  
строительного университета, г. Москва, Россия

УДК 614.894:006.354

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ В ЗДАНИЯХ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ САМОСПАСАТЕЛЕЙ. Часть 1. СОВРЕМЕННЫЕ САМОСПАСАТЕЛИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ И ЗРЕНИЯ

Рассмотрены причины, приводящие к гибели людей. Проведен анализ типов современных самоспасателей. Даны классификация и нормативные требования к самоспасателям. Приведены причины предпочтительности применения самоспасателей в зданиях. Введено понятие спасения. Даны основные технические характеристики фильтрующих самоспасателей. Приводится способ проверки эффективности применения их в зданиях.

**Ключевые слова:** самоспасатель; национальный стандарт РФ; эвакуация; спасение.

### Причины, приводящие к гибели людей в зданиях при возникновении пожара

При возникновении пожара движение людского потока, как правило, ориентировано по направлению путей эвакуации. При этом люди, исходя из физиологических особенностей человеческого организма — инстинкта сохранения, пытаются избегать эвакуационных путей, заблокированных опасными факторами пожара (ОФП), так как это может привести к их травмированию или гибели. Учитывая, что при возникновении горения и последующего выделения продуктов сгорания первым наступает предельно допустимое значение ОФП по потере видимости, можно сделать вывод, что человек, в первую очередь во время эвакуации, старается избежать задымленного участка на пути своего следования. В связи с этим в соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ [1] предусмотрены объемно-планировочные решения, системы противопожарной защиты и другие мероприятия, направленные на защиту людей от воздействия опасных факторов пожара. Выход из строя хотя бы одного элемента в комплексе системы противопожарной защиты (к примеру, системы обнаружения пожара) может повлечь за собой отказ систем оповещения, тушения и противодымной защиты. Поэтому возникает проблема применения таких средств защиты, которые могли бы обеспечить безопасное движение (перемещение) людей по путям эвакуации.

Рассмотрим причины, приводящие к травмированию или гибели людей в зданиях при возникновении пожара:

- быстрое распространение пожара;
- плохое ориентирование людей внутри здания;
- недостаточная мобильность людей из-за возраста или по состоянию здоровья;
- значительная длина путей эвакуации и сложность планировки здания;
- недостаточная защищенность путей эвакуации от распространения и воздействия опасных факторов пожара;
- совершение в здании теракта или поджога, при котором будут завалены или заблокированы пути эвакуации;
- задержки в проведении спасательных работ.

В связи с этим эффективно было бы применение средств защиты, которые могли бы существенно увеличить время пребывания людей под воздействием опасных факторов пожара. Одним из таких средств могут стать индивидуальные средства защиты органов дыхания и зрения от воздействия ОФП, а именно самоспасатели.

### Классификация современных самоспасателей

Чтобы понять принцип работы самоспасателя, необходимо рассмотреть классификацию современ-

ных самоспасателей в соответствии с национальными стандартами РФ:

- изолирующие самоспасатели:
  - ГОСТ Р 53259–2009 [2];
  - ГОСТ Р 53260–2009 [3];
- фильтрующие самоспасатели:
  - ГОСТ Р 53261–2009 [4].

Национальные стандарты были разработаны на базе российских нормативов по пожарной безопасности:

- изолирующие самоспасатели:
  - НПБ 169–2001 [5];
- фильтрующие самоспасатели:
  - НПБ 302–2001 [6],

а также с учетом следующих требований российских и европейских стандартов:

- изолирующие самоспасатели:
  - BS EN 402:2003 [7];
  - BS EN 1146:2005 [8];
  - BS EN 13794:2002 [9];
  - ГОСТ Р 12.4.220–2001 [10];
- фильтрующие самоспасатели:
  - BS EN 403:2004 [11].

Следует упомянуть, что самоспасатели на данный момент имеют нормативные требования только для взрослых и детей старше 12 лет.

В соответствии с национальными стандартами по принципу действия самоспасатели подразделяются на два класса: *изолирующие* и *фильтрующие*.

Класс изолирующих самоспасателей делится на:

- изолирующие со сжатым воздухом;
- изолирующие с химически связанным кислородом.

Самоспасатели изолирующие со сжатым воздухом в зависимости от способа воздухоснабжения делятся на два вида:

- с постоянной подачей воздуха;
- с легочно-автоматической подачей воздуха.

Изолирующие самоспасатели в зависимости от назначения делятся на:

- самоспасатели *общего назначения* — для применения людьми, которые самостоятельно эвакуируются из зданий и помещений во время пожара;
- самоспасатели *специального назначения* — для применения персоналом, ответственным за организацию во время пожара эвакуации людей из зданий и помещений постоянного проживания и круглосуточного (временного) пребывания людей (гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпинги, мотели и пансионаты, специализированные дома престарелых и инвалидов), а также для оснащения объектовых пунктов пожароту-

шения и постов безопасности зданий и сооружений.

Номинальное время защитного действия самоспасателя общего назначения должно быть не менее 15 мин, специального назначения — не менее 25 мин.

Самоспасатели фильтрующие в соответствии с ГОСТ Р 22.9.09–2005 [12] подразделяются на:

- универсальные;
- специальные.

Фильтрующие самоспасатели в зависимости от защитных свойств подразделяются на следующие классы [12]:

- низкой эффективности;
- средней эффективности;
- высокой эффективности.

Время защитного действия фильтрующего самоспасателя должно быть не менее 15 мин.

По степени эффективности защиты от опасных факторов пожара самоспасатели имеют следующую градацию:

- 1) изолирующие со сжатым воздухом;
- 2) изолирующие с химически связанным кислородом;
- 3) фильтрующие.

Изолирующие самоспасатели можно применять независимо от содержания кислорода и концентрации токсичных продуктов горения в окружающей среде. В то время как фильтрующие самоспасатели имеют ограничение: если концентрация кислорода в окружающей среде составляет менее 17 % (об.), их применять запрещено.

Действие упомянутого выше ГОСТ Р 22.9.09–2005 [12] распространяется только на фильтрующие средства индивидуальной защиты органов дыхания — самоспасатели, предназначенные для защиты населения от опасных химических веществ, радиоактивных веществ и продуктов горения при экстренной эвакуации из зоны поражения. Настоящий стандарт не распространяется на средства индивидуальной защиты органов дыхания населения от боевых токсичных химических веществ, открытого пламени, биологических поражающих агентов. Стандартом установлены технические требования, требования безопасности и охраны окружающей среды, предъявляемые к средствам защиты. В стандарте также излагаются требования к маркировке, упаковке, транспортированию и хранению фильтрующих самоспасателей.

ГОСТ Р 22.9.09–2005 [12], как упоминалось выше, вводит деление самоспасателей на универсальные и специализированные, а также дает понятие об их высокой, средней и низкой эффективности в зависимости от защитных свойств, но не содержит более высокие требования по защите, которые пре-

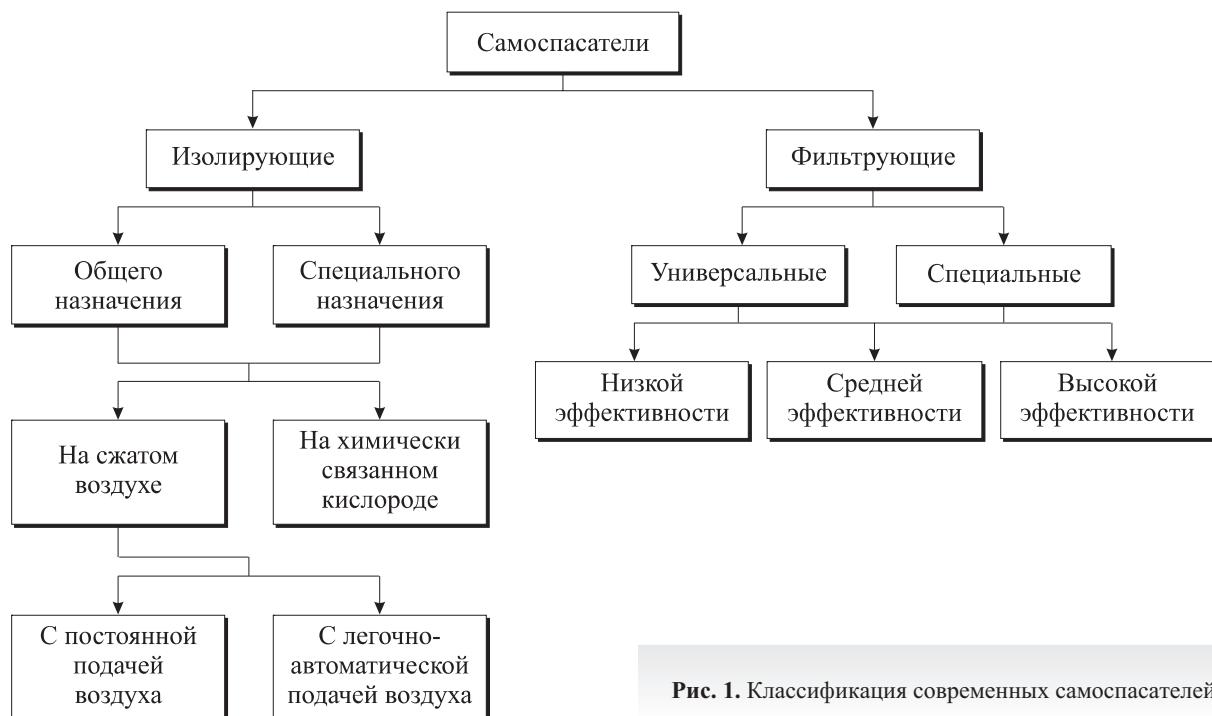


Рис. 1. Классификация современных самоспасателей

дусмотрены в национальных стандартах ГОСТ Р 53259–2009, ГОСТ Р 53260–2009 и ГОСТ Р 53261–2009.

С учетом подробного описания изолирующих самоспасателей в национальных стандартах РФ, а также более детального деления фильтрующих самоспасателей в соответствии с ГОСТ Р 22.9.09–2005 [12] можно представить следующую классификацию современных самоспасателей (рис. 1).

### Основные термины и определения

**Самоспасатель** — средство индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от токсичных продуктов горения в течение заявленного времени защитного действия при эвакуации людей из зданий и помещений во время пожара.

**Самоспасатель со сжатым воздухом** — средство индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека, в котором весь запас воздуха хранится в баллоне в сжатом состоянии.

**Самоспасатель с постоянной подачей воздуха** — самоспасатель со сжатым воздухом, работающий по вентилируемой схеме дыхания, при которой при постоянной подаче воздуха вдох делается из-под капюшона, а выдох — в капюшон.

**Самоспасатель с легочно-автоматической подачей воздуха** — самоспасатель со сжатым воздухом, работающий по открытой схеме дыхания, при которой вдох осуществляется из баллона, а выдох — в атмосферу.

**Самоспасатель с химически связанным кислородом** — средство индивидуальной защиты орга-

нов дыхания и зрения человека, действие которого основано на регенерации газовой дыхательной смеси в контуре самоспасателя за счет поглощения химическим веществом диоксида углерода и влаги и добавления в газовую дыхательную смесь кислорода. Предназначенный для дыхания кислород содержится в химически связанном состоянии.

**Самоспасатель фильтрующий** — средство индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека, в котором вдыхаемый человеком воздух очищается в комбинированном фильтре самоспасателя, а выдыхаемый воздух удаляется в окружающую среду.

### Какие самоспасатели предпочтительнее использовать в зданиях

При возникновении пожара людям, находящимся в здании, легче и быстрее включиться в фильтрующие, чем в изолирующие самоспасатели, поскольку пользование фильтрующими самоспасателями не требует специальной подготовки в отличие от изолирующих на сжатом воздухе. Кроме того, хранение в помещениях здания изолирующих самоспасателей на сжатом воздухе и на химически связанном кислороде может представлять высокую опасность, так как в случае пожара они могут стать источником, поддерживающим горение. Фильтрующие самоспасатели имеют ряд преимуществ перед изолирующими: меньшие габариты, меньшую массу и простоту включения в них. Мобильность людей в самоспасателях при пожаре в здании не ухудшается.

Изолирующие самоспасатели целесообразно использовать в основном при крупных авариях и по-

жарах, к примеру на химическом производстве, в метро, высотных зданиях и т. д. Фильтрующие самоспасатели могут найти широкое применение при ЧС, например, в школьных учреждениях, общежитиях и т. д. Изолирующие самоспасатели следует использовать и размещать на высоких этажах зданий, например в высших учебных учреждениях на самых верхних этажах — с пятого по девятый, а фильтрующие — на этажах с первого по четвертый. Такое размещение самоспасателей обусловлено динамикой развития пожара и движением людского потока. Самоспасатели также могут найти широкое применение не только в образовательных учреждениях, но и в высотных зданиях. Но следует упомянуть, что данные положения о применении самоспасателей носят рекомендательный характер исходя из здравого смысла. Количество, выбор типа и эффективность использования самоспасателей можно оценить только при сравнительном анализе динамики развития пожара и эвакуации людей при пожаре.

### Термин “спасение”

Термин “спасение” при самостоятельном перемещении людей непосредственно наружу из здания или в безопасную зону при использовании самоспасателей в данной статье введен неслучайно. Федеральный закон № 123-Ф [1] устанавливает, что “*эвакуация* — процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей опасных факторов пожара”. Каждое здание, сооружение или строение должно иметь объемно-планировочное решение и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре. При невозможности безопасной эвакуации людей должна быть обеспечена их защита посредством применения систем коллективной защиты.

Защита людей от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий их воздействия должны обеспечиваться различными способами, одним из которых является применение средств индивидуальной защиты людей от воздействия опасных факторов пожара. Средства индивидуальной защиты людей (а именно, органов зрения и дыхания) должны применяться для защиты как спасающихся, так и спасаемых людей. ГОСТ Р 53261–2009 [4] трактует самоспасатели как средство индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от токсичных продуктов горения в течение заявленного времени защитного действия при эвакуации из производственных, административных и жилых зданий, помещений во время пожара.

Однако в данном случае термин “*эвакуация*” лучше употребить в значении “*спасения*” как вынужденного перемещения людей наружу *при воздействии на них опасных факторов пожара* или при непосредственной угрозе этого воздействия, что более полно передает смысл действий людей, включенных в самоспасатели, при перемещении по путям эвакуации по направлению к безопасной зоне либо непосредственно к выходу из здания.

### Основные технические характеристики фильтрующих самоспасателей

Основной параметр фильтрующих самоспасателей — время защитного действия.

Время защитного действия — это период, в течение которого сохраняется защитная способность фильтра самоспасателя, т. е. время с момента поступления тест-вещества в фильтр до момента появления его за фильтром в проскоковой концентрации.

ГОСТ Р 53261–2009 [4] предъявляет следующие требования к фильтрующим самоспасателям.

В комплект самоспасателя должны входить:

- рабочая часть;
- герметичная упаковка;
- руководство по эксплуатации;
- паспорт;
- сумка (футляр).

В рабочую часть самоспасателя должны входить:

- капюшон со смотровым окном;
- комбинированный фильтр (далее — фильтр).

Время защитного действия фильтра самоспасателя должно быть не менее 15 мин при воздействии на него следующих тест-веществ:

- монооксида углерода (CO);
- хлорида водорода (HCl);
- цианида водорода (HCN);
- акролеина  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$ .

### Технические характеристики самоспасателей

Время надевания и приведения самоспасателя в действие, с, не более ..... 60

Вероятность сохранения исправности самоспасателя за время нахождения его в состоянии ожидания применения, не менее ..... 0,98

Вероятность безотказной работы самоспасателя за время защитного действия, не менее ..... 0,98

Сохранение работоспособности самоспасателя, с:

после пребывания в среде с температурой

$200^{\circ}\text{C}$  .....  $60 \pm 5$

после воздействия открытого пламени

с температурой  $(800 \pm 50)^{\circ}\text{C}$  .....  $5,0 \pm 0,2$

Сохранение работоспособности самоспасателя

после воздействия теплового потока

плотностью  $(8,5 \pm 0,5)\text{ кВт}/\text{м}^2$ , мин .....  $3,0 \pm 0,1$

Масса рабочей части самоспасателя, кг, не более ..... 1,0



Рис. 2. Общий вид фильтрующих самоспасателей: а — ГДЗК; б — Шанс-Е; в — ГДЗК-У; г — Parat-C; д — S-CAP

#### Сравнение защитных и потребительских характеристик фильтрующих самоспасателей

Сравнительный критерий	Шанс-Е	ГДЗК	ГДЗК-У	Parat-C	S-CAP
Время защитного действия, мин, не менее	30	30	30	15	15
<b>Воздействующие концентрации тест-веществ, мг/м<sup>3</sup>:</b>					
оксида углерода	4375	3000	4375	Нет данных	
хлорида водорода	1000	400	3000	Нет данных	
цианида водорода	440	10	2000	Нет данных	
акролеина	240	10	1250	Нет данных	
<b>Суммарный коэффициент проницаемости и подсоса по СМТ, %, не более:</b>					
в зону дыхания	2,0	0,1	1,0	Нет	
в зону глаз	1,0	2,0	1,0	данных	
Сопротивление постоянному потоку воздуха на вдохе, Па, не более	Нет данных	260	800	Нет данных	
Срок хранения, лет	5	5	5	6	5
Масса изделия без упаковки, г, не более	600	800	800	600	540

Капюшон должен полностью закрывать голову человека. В конструкцию капюшона рекомендуется включать полумаску или четвертьмаску, которые закрывают нос и рот человека, изолируя подмасочное пространство от остального пространства под капюшоном. Капюшон должен иметь только один раз-

мер. Он должен быть удобным и комфортным для ношения и не вызывать наминов третьей степени мягких тканей лица, шеи, головы человека и болевых ощущений в течение времени защитного действия самоспасателя. Капюшон при использовании не должен ограничивать свободу движения головы, шеи, рук и туловища человека. Кроме того, он должен обеспечивать возможность ведения переговоров между людьми, использующими самоспасатели.

Конструкция смотрового окна капюшона должна препятствовать его запотеванию, существенно затрудняющему обзор человеку в самоспасателе. Смотровое окно капюшона должно обеспечивать площадь обзора не менее 70 % от площади обзора без капюшона.

Рассмотрим пять самоспасателей фильтрующего типа, сведения о которых приведены в таблице, а общий вид показан на рис. 2.

#### Выводы

Исходя из технических характеристик самоспасателей, можно сделать вывод об их способности существенно увеличить время пребывания людей в задымленном помещении до прибытия пожарных подразделений либо время нахождения их на задымленных участках при спасении из здания. Однако, чтобы говорить об эффективности применения самоспасателей как одного из средств повышения безопасности людей в зданиях, необходимо провести ряд испытаний с целью оценки их эффективности путем сравнения значений времени эвакуации и необходимого времени эвакуации людей при пожаре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2008. — № 30 (часть I). — Ст. 3579.
2. ГОСТ Р 53259-2009. Техника пожарная. Самоспасатели изолирующие со сжатым воздухом для защиты людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из задымленных помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.05.2009. — М. : Стандартинформ, 2009.

3. ГОСТ Р 53260–2009. Техника пожарная. Самоспасатели изолирующие с химически связанным кислородом для защиты людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из задымленных помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.05.2009. — М. : Стандартинформ, 2009.
4. ГОСТ Р 53261–2009. Техника пожарная. Самоспасатели фильтрующие для защиты людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из задымленных помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартинформ, 2009.
5. НПБ 169–2001. Техника пожарная. Самоспасатели изолирующие для защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний : утв. 07.09.2001 ГУГПС МВД России ; введ. 01.10.2001. — М. : Тип. ФГУ ВНИИПО МВД России, 2001.
6. НПБ 302–2001. Техника пожарная. Самоспасатели фильтрующие для защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний : утв. 18.12.2001 ГУГПС МВД России ; 18.06.2003 МЧС России ; введ. 01.02.2002. — М. : ВНИИПО МВД России, 2002.
7. BS EN 402:2003. Respiratory protective devices. Lung governed demand self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask or mouthpiece assembly for escape. Requirements, testing, marking. — British Standards Institution, 2003.
8. BS EN 1146:2005. Respiratory protective devices. Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus incorporating a hood for escape. Requirements, testing, marking. — British Standards Institution, 2006.
9. BS EN 13794:2002. Respiratory protective devices. Self-contained closed-circuit breathing apparatus for escape. Requirements, testing, marking. — British Standards Institution, 2002.
10. ГОСТ Р 12.4.220–2001. ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Аппараты изолирующие с химически связанным кислородом (самоспасатели). Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2002. — М. : ИПК “Изд-во стандартов”, 2001.
11. BS EN 403:2004. Respiratory protective devices for self-rescue. Filtering devices with hood for escape from fire. Requirements, testing, marking. — British Standards Institution, 2004.
12. ГОСТ Р 22.9.09–2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Средства индивидуальной защиты населения в чрезвычайных ситуациях. Самоспасатели фильтрующие. Общие технические требования. — Введ. 01.07.2005. — М. : ИПК “Изд-во стандартов”, 2005.

(Продолжение следует)

Материал поступил в редакцию 1 ноября 2010 г.  
Электронный адрес автора: sa.bushmanov@gmail.com.



В. Д. Захматов

д-р техн. наук, профессор ИТГИП НАНУ,  
г. Киев, Украина

УДК 502/504:628.3

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИКИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Приведен критический и сравнительный обзор перспективных разработок пожарной техники для тушения лесных пожаров. Показаны зарубежные и отечественные разработки по совершенствованию традиционной техники, импульсной пневматической техники и импульсной техники на основе использования пороховых зарядов и зарядов взрывчатых веществ. Сформулированы рекомендации по их внедрению.

**Ключевые слова:** верховой и низовой лесные пожары; пламенная, газовая и конденсированная зоны горения; гидравлическая и пневматическая техника; авиационные пожаротушащие бомбы; стационарные распылительные устройства; переносные огнетушители универсального распыления — “вседные”; многоствольные распылительные установки.

Летняя жара этого года не имела аналогов на протяжении последних десятков, если не сотен лет. Соответственно, и лесные пожары были беспрецедентными по своим масштабам (сотни тысяч гектаров), по количеству (тысячи возгораний и сотни крупных пожаров), а также по убыткам, которые они принесли: только прямые измеряются миллиардами долларов, а косвенные могут быть минимум на порядок больше. Борьба с лесными пожарами в России, США, Франции, Греции, Испании, Австралии давно перешла рамки региональных задач и превратилась в острую политico-экономическую государственную проблему.

Статистика нескольких последних десятилетий показывает, что во всем мире от лесных пожаров в среднем погибает не менее 50 % ежегодного прироста леса. На пожарищах не ранее чем через 30–60 лет вырастает менее ценный лес, образуются болота, гибнет животный мир: целому региону, где возникает лесной пожар, наносится непоправимый экологический ущерб. По мере развития промышленности, городов, дачных и коттеджных поселков в лесных зонах и культурного освоения лесов лесопромысловиками, туристами и отдыхающими в значительной степени возрастает количество лесных пожаров, скорости их развития, масштабы, убытки и экологический ущерб от них [1]. В последние годы в массовом порядке стали применяться криминальные поджоги леса для очистки площадок для строительства домов, коттеджей и дач. Напри-

мер, одна из версий возникновения лесного пожара на горе Кармаль около Хайфы (Израиль) — баловство подростков в арабском селе с фейерверками и сигнальными ракетами.

К тушению лесных пожаров привлекаются пожарные и специальные вспомогательные машины на наиболее мощных и высокопроходимых шасси: колесные трех- и четырехосные гусеничные вездеходы, тракторы, танки, самоходные артиллерийские установки, а также траншеекопатели и фрезерные полосопрокладыватели [2, 3]. При существующей наземной струйной технике и продолжительной локальной подаче огнетушащих составов (ОС) на очаг пожара тушение лесных пожаров весьма малоэффективно и тактика тушения носит исключительно оборонительный характер. Вследствие малой дальности ручных и лафетных стволов вода зачастую не достигает очага пожара: десятки и сотни ее тонн пропадают впустую, практически не участвуя в тушении. К тому же в лесу, как правило, мало источников воды и нет возможности обеспечить достаточно интенсивную подачу воды по всему фронту распространения лесного пожара. Низкая эффективность использования современной пожарной техники для тушения лесных пожаров является основной причиной того, что до настоящего времени основным средством локализации лесных пожаров не только в России, но и в других странах являются лопаты и массовое, но малоэффективное использо-

вание добровольцев-волонтеров и армейских частей, работающих в очень тяжелых, опасных условиях [4].

Основная причина низкой эффективности современной пожарной техники заключается в том, что газодинамические параметры лесных пожаров (кинетическая энергия пламени и восходящих потоков дыма — продуктов сгорания, масштабы и скорость развития большинства лесных пожаров) значительно превышают соответствующие параметры огнетушащего воздействия, которое может обеспечить современная пожарная наземная техника. Скорость развития лесных пожаров, особенно в ветреную погоду, диктует необходимость быстрого маневрирования пожарными силами и средствами. В условиях больших лесных массивов — тайги, джунглей или лесов в горах, а также пересеченной холмистой местности проблему тушения лесных пожаров возможно *практически* решить только с помощью авиации, способной своевременно доставить в любой район пожарные силы и средства.

Ограниченный доступ к очагам лесного пожара, особенно в больших лесных массивах, горах, холмистой местности или местности с наличием множества рек, озер, ручьев, делает авиацию (самолеты и вертолеты) практически единственным средством активного тушения труднодоступных очагов лесного пожара до их слияния и трансформации в стихийное неконтролируемое бедствие — верховой лесной пожар. Количество вылетов самолетов и вертолетов определяется удаленностью авиационных баз лесной охраны от места возникновения лесного пожара. Кроме того, число самолетов и вертолетов и количество вылетов ограничиваются их высокой стоимостью даже в таких богатых странах, как США. Главным направлением совершенствования авиационных средств тушения должно стать обеспечение возможности максимального увеличения площади окончательного тушения, а не просто внешне эффектного, но в большинстве случаев временного сбоя пламени путем слива воды с самолета, подвесной емкости вертолета или сброса бомбы АПБ-500 [5–7].

С самолетов и вертолетов, в зависимости от их грузоподъемности и конструкции емкостей для огнетушащих составов, сбрасывается и распыляется за один вылет от 0,3 до 40 т воды или водных растворов с повышенной смачивающей и адгезионной способностью. При тушении лесного низового пожара основная часть (не менее 95 %) жидкого огнетушащих составов уносится атмосферными потоками (ветром) и экранирующими зону пожара конвективными восходящими газовыми потоками продуктов сгорания (дыма); заметная часть распыленных огнетушащих составов осаждается на кронах деревьев, кустарников. Над очагом пожара с характерным размером более 20 м присутствует мощный столб восходящего потока продуктов сгорания (дыма) и нагретого воздуха со средней скоростью более 10 м/с. Над эпицентром очага пожара в столбе дыма образуются вихревые зоны со скоростью потока до 30 м/с, способствующие полному уносу за пределы зоны горения и испарению воды с размером капель менее 5 мм. Сбрасываемый с самолета массив жидкости под воздействием интенсивного аэродинамического сопротивления дробится на частицы размером 0,5–5 мм. Причем более крупные частицы могут существовать только внутри крупных и плотных скоплений капель с концентрацией 20–50 кг/м<sup>3</sup>, что до 200 раз превышает концентрацию газоводяного потока, минимально необходимую для надежного тушения смешанного, верхового и низового лесных пожаров [7, 8].

В среднем не более 1–2 % распыляемой массы ОС попадает на обугленную поверхность деревьев и охлаждает этот высокотемпературный слой, являющийся фундаментом лесного пожара и источником повторных воспламенений весьма длительное время — до нескольких часов после сбоя пламени [6, 8, 9]. К тому же эта незначительная часть от распыляемой массы ОС часто осаждается в виде аэрозоля, тумана, в лучшем случае мелкого, моросящего дождя-континуума из мелкодисперсных капель, обладающих малой кинетической энергией и, следовательно, незначительной проникающей, разрушающей и, главное, малой охлаждающей способностью, на обугленную поверхность — главный хранитель тепла в очаге пожара. Такое воздействие малоэффективно для тушения мощных локальных очагов лесного пожара; горящих стволов, особенно сваленных, лежащих над землей и горящих с нижней поверхности; горящих пней и очагов горения внутри дупла, а также толстого слоя тлеющей, слежавшейся на земле листвы.

Практически неосуществимо на базе современного диапазона применяющихся сил и средств эффективное распыление ОС на верховой лесной пожар. Основная причина заключается в мощных потоках дыма высотой до 2 км, делающих сброс практически любой массы воды с такой высоты абсолютно бесперспективным [7, 10, 11]. Для прицельного сброса — распыления ОС на очаг лесного пожара самолету необходимо пролететь по прямой траектории до цели дистанцию в несколько километров. Вертолет для прицельного слива огнетушащего состава на очаг лесного пожара должен пролететь меньшую по сравнению с самолетом дистанцию по прямой траектории до цели, зависнуть над этой целью и сохранять стабильное положение относительно очага пожара на протяжении нескольких десятков

секунд. Поэтому вертолеты и самолеты могут эффективно использоваться только для тушения малых и средних очагов пожара леса, восходящие потоки дыма от которых не могут препятствовать маневрированию летательного аппарата для прицельного сброса огнетушащего состава на очаг лесного пожара.

Однако авиационные сливные системы позволяют лишь однократно или за несколько приемов распылить весь запас воды или водного раствора — от 1 до 40 т. Слив распыляется во встречном атмосферном потоке, образуя воздушно-капельный шквал, способный эффектно сбить пламя на площади до нескольких сотен или тысяч квадратных метров, но окончательное тушение очагов лесных пожаров достигается лишь на площади до 100–150 м<sup>2</sup>. Поэтому авиационное тушение пожаров леса, кустарника, степи при существующей малоэффективной технике слива воды на очаг пожара весьма дорогостоящее: стоимость взлета-посадки и полетного часа превышает 2500 долл. [4, 12].

Чем больший объем воды или водного раствора может доставить к очагу пожара самолет или вертолет, тем в более жестких аэродинамических условиях происходит слив и тем выше аэродинамические потери воды, так как для сохранения устойчивости летательного аппарата на траектории необходимо увеличивать скорость и высоту полета [6, 7]. Однако, несмотря на низкую эффективность, высокие опасность и стоимость, метод слива больших масс воды с летательных аппаратов на очаги лесных пожаров до настоящего времени является основным, и на него в ряде стран тратятся громадные силы и средства.

Все эти недостатки авиационного тушения были ярко продемонстрированы во время лесных пожаров на горе Кармаль в окрестностях Хайфы в Израиле, непосредственным участником тушения которых был автор статьи.

Анализ продолжавшегося в течение 4 дней лесного пожара в заповеднике на горе Кармаль и его тушения показал следующее.

1. Современная техника малоэффективна для тушения больших пожаров и практически непригодна для тушения катастрофических лесных пожаров на территории Израиля и других средиземноморских стран вследствие большой скорости распространения пожара и низкой эффективности процесса тушения.

2. Авиационный способ слива воды очень дорог. Например, вылет американского пожарного Боинга (Джумбо Джет) обходится в 200 тыс. долл., он сливает 40 т воды, распыляемых согласно рекламе по полосе длиной 1,5 км и шириной до 40 м. При этом общая площадь распыления должна достигать

60000 м<sup>2</sup>, но реально тушится не более 1000 м<sup>2</sup> (вероятно, это площадь хорошего концентрированного смачивания), а на остальной площади воздействия буквально через 10–30 мин возникают повторные возгорания.

Низкая эффективность авиационного распыления воды объясняется следующими причинами: неравномерностью распыления по заявленной площади 60000 м<sup>2</sup>; большими аэродинамическими потерями воды, сбрасываемой самолетом на относительно высокой скорости — не менее 450–500 км/ч (125–150 м/с) с высоты до 500 м (ниже тяжело нагруженный самолет лететь не может из-за очень большого риска внезапной потери высоты и аварии в нестабильной, аэродинамически сложной обстановке, характеризующейся наличием мощных восходящих нагретых потоков воздуха и дыма от пожара; при этом встречный поток воздуха уносит не менее 50–60 % воды); низкой прицельностью сброса (большая часть воды распыляется по площади, где горения нет); большими размерами капель воды, приводящими к их отскоку от горящей площади и вылету за пределы зоны горения.

Российские самолеты фирмы “Антонов” и ОКБ “Бериев” (например, Бе-200) сбрасывают 10–20 т воды, и их вылеты обходятся около 100 тыс. долл.; более мелкие самолеты канадской фирмы “CanadAir” сбрасывают 3–5 т воды и тушат окончательно не более 150–300 м<sup>2</sup>, и их вылеты обходятся более чем в 50 тыс. долл. Следовательно, стоимость окончательного тушения 1 м<sup>2</sup> составляет от 100 до 200 долл. При этом максимально возможная скорость тушения при массовом скоплении чрезвычайно дорогостоящей пожарной техники не позволила спасти заповедник и привела к фактическому уничтожению его наиболее красивых участков. До прибытия пожарных самолетов сгорело не более 1500 га; при напряженной работе 25 пожарных самолетов, стоившей сотни миллионов долларов, сгорело еще 3000 га.

Я был приглашен правительством Израиля в качестве консультанта по применению взрыва при тушении лесных пожаров. Под моим руководством израильские специалисты готовили подвесные авиационные и наземные взрывные распылительные устройства для борьбы с лесным пожаром. На полигоне близ пожара была продемонстрирована эффективность этих средств, но применялись они только в последний день тушения. Взрывные технологии были оставлены в резерве на тот случай, если бы усилился ветер и пожар потребовалось качественное усиление привлеченных сил и средств.

Из анализа сотен сбросов воды, которые я лично наблюдал, было ясно видно, что современные пожарные самолеты успешно распыляют воду с низких высот только на очаги низового пожара и уже

сгоревшие участки для предотвращения разноса ветром горящих фрагментов. На участки с верховым пожаром самолеты могли сбрасывать воду только с больших высот, в результате чего долетевшая до очага небольшая масса распыленной воды не могла оказать эффективного тушения. Верховой пожар распространялся практически беспрепятственно: не было эффективных средств для его остановки и тушения. Самолеты обрабатывали эффективно участки только за или перед фронтом лесного пожара. Несмотря на большое количество вылетов множества самолетов их массированное применение оказалось далеко не эффективным и не позволяло полностью контролировать пожар.

Аналогичную картину я наблюдал при тушении лесного пожара в Тольятти в августе, только там самолетов и вылетов было намного меньше по сравнению с Израилем, и низкую эффективность тушения списывали на недостаток сил и средств. Израильское пожаротушение продемонстрировало, что дело не в количестве: надо качественно менять технику тушения современных лесных пожаров, а учитывая явную тенденцию роста их масштабов, необходимо это делать незамедлительно, используя то, что было наработано еще в советское время, но забыто.

Вследствие низкой огнетушащей эффективности метода сброса воды для обеспечения тушения очага лесного пожара требуются очень большие массы воды. В связи с этим в приморских пожароопасных районах США, Франции, Греции, Италии, Израиля, Австралии и других стран из-за отсутствия водоемов с достаточным объемом пресной воды для тушения лесных пожаров широко используется морская вода. Однако сброс больших масс морской воды на лес и степь приводит к катастрофическому экологическому ущербу — засаливанию почвы и массовой гибели деревьев, кустарников, травы. Этот ущерб сравним с ущербом от лесного пожара, а зачастую и превосходит его, так как на почве, пропитанной морской водой, многие десятки лет может ничего не расти. Последствия этой катастрофы с большим трудом ликвидируют подразделения лесных или сельскохозяйственных министерств, затрачивая десятки и сотни миллионов долларов на рекультивацию — замену верхнего слоя почвы толщиной до 1 м [5, 6, 10].

Проектированием и производством специальных противопожарных самолетов и вертолетов занимается ряд ведущих западных самолетостроительных фирм, а также авиационные комплексы России и Украины. Канадская фирма “CanadAir” производит гидросамолеты, специально модернизированные для тушения лесных пожаров: это гидросамолеты CL-215T и CL-415T, способные осуществлять при скольжении по поверхности воды с высокой

скоростью беспосадочный забор воды во внутренние и внешнефюзеляжные емкости из естественных водоемов — озер, рек, морей [3, 4]. В США для этих целей ряд фирм также производит специальные самолеты. Основным препятствием для их применения в странах СНГ является их высокая стоимость — более 18 млн долл. США без учета дополнительной оплаты запасных частей и оборудования [6, 12]. Практически все самолеты, выпускаемые вышеупомянутыми фирмами, имеют относительно небольшую емкость для огнетушащей жидкости (ОГЖ) и малый радиус действия. Неполная загрузка самолета объясняется высокой сложностью его управления в процессе быстрого слива большой массы воды и некоторое время после ее слива, что в условиях сложной аэродинамической обстановки может с высокой степенью вероятности привести к аварии.

В современной наземной технике по локализации лесных пожаров последними разработками являются автомобили газоводяного тушения с турбореактивными двигателями и стационарные системы с регулярным расположением распылителей, разработанные фирмами “Zeus-La Brumisation”, “CEDEXO4 – France”, “ESCOTA” (Societe des Autoroutes Esterel), “Cote D’AZUR”, “Provence”, “ALPES”. Данные системы хороши для защиты населенных пунктов от лесных пожаров, но практически непригодны для тушения больших лесных массивов ввиду их большой стоимости, громоздкости и неавтономности (требуются прокладка трубопроводов от источников или резервуаров с водой, мощные насосные станции).

Проект спутникового раннего обнаружения очагов лесного пожара был представлен группой “INSA”, объединяющей множество аэрокосмических и компьютерных фирм Испании, Португалии, Италии, Франции, Греции, Чили, Объединенного Королевства и центральных европейских организаций. Проект предусматривает международное сотрудничество в области обнаружения и совместного тушения лесных пожаров.

Самолеты для тушения лесных пожаров представляются фирмами: “CanadAir” (Канада), “Aerospace” (Франция), BAE 146AT “AirTanker” (Англия), “EADS – European Aeronautic Defence and Space Company” (Голландия). Разработки данных фирм традиционно направлены на сокращение времени заправки самолета, повышение интенсивности и прицельности сброса воды путем совершенствования аэродинамических качеств самолета в условиях воздействия интенсивных тепловых потоков. Американская фирма “Basler Turbo Conversions LLC” (штат Висконсин) представляет старые бомбардировщики и транспортные самолеты, модернизированные для тушения лесных пожаров. Их достоинства — дешевизна, большая вместимость емкостей

для воды, устойчивость управления и полета в сложных условиях задымленности и тепловых восходящих потоков.

Вертолеты и вертолетные системы тушения (подвесные и внутрифюзеляжные) представляют крупные фирмы, такие как “Eurocopter” (Франция, Марсель); видеосистемы для прицельного слива воды — “Helicopter Association International” (Франция); вертолет большой грузоподъемности с прерывистым контролируемым сливом воды — “Ericson – Crane” (США); знаменитые “Bambi Bucket”, подвески для забора и системы высокointенсивного и прицельного слива, — “SEI Industries” (Канада); оригинальную эффективную систему слива воды из подвесного бака через трубу с распылителем, обеспечивающую высокое давление на выходе распылителя и эффективное распыление воды, а также подвесные системы слива и составы повышенной огнетушащей эффективности — фирмы Франции.

Исходной величиной для оценки размеров создаваемой летательными аппаратами заградительной полосы путем распыления специальных водных растворов является минимальная плотность смачивания грунта  $\gamma$  ( $\text{л}/\text{м}^2$ ), а также наличный объем жидкости на борту летательного аппарата. Для создания заградительной полосы требуется значение не менее  $1,5–2,5 \text{ л}/\text{м}^2$  по поверхности грунта при средних интенсивности и площади пожара ( $10–100 \text{ м}^2$ ), не перешедшего еще в быстро распространяющийся верховой пожар. При сливе жидкости с воздуха ее распределение по полосе имеет неравномерный характер: по середине полосы наблюдается максимальная концентрация, а по ее краям — на  $30–40 \%$  меньше [12]. С другой стороны, при сливе жидкости под давлением с минимальной для средних самолетов высоты  $H < 50 \text{ м}$  и при скорости  $V = 230–240 \text{ км}/\text{ч}$  потери за счет аэродинамического уноса и интенсивного испарения воды оцениваются не менее чем  $50–80 \%$  [6, 7].

Значительно более эффективно применение подвесных пожарных цистерн — жестких и мягких. Такие цистерны-баки производятся в Канаде (фирма “SEI Industries”), России (фирма “Техноэкос”) и на Украине (Феодосийский институт аэроупругих систем) [11, 13]. Есть баки, которые заполняются водой на взлетно-посадочных площадках из цистерн с помощью насоса. Другой тип баков позволяет осуществлять зачерпывание воды из водоемов (моря, реки, озера), транспортировать ее к очагу пожара и осуществлять слив над очагом с регулируемой интенсивностью. Одна из конструкций бака, изготавливаемого на Украине, работает следующим образом. Перед зачерпыванием воды сливной патрубок поднимается механизмом управления в крайнее верхнее положение. После зачерпывания воды

и ее транспортировки к месту пожара при нажатии кнопки пульта управления механизм опускает сливной патрубок в крайнее нижнее положение, при этом происходит слив воды с интенсивностью до  $800 \text{ л}/\text{с}$ . В подвесных баках транспортируется от 2 до  $4,5 \text{ т}$  воды. К недостаткам таких систем можно отнести: высокую стоимость подвесных баков (до 15 тыс. долл. США), значительное время подготовки к работе (до 15 мин), низкие прицельность и интенсивность распыления воды, что ограничивает площадь окончательного тушения.

Германскими фирмами для тушения горящего леса разработаны значительно более эффективные вязкие, липкие составы “Firesord”, “Hydrex” с высокой адгезионной способностью, прилипающие на раскаленные, обугленные поверхности и создающие сплошной изолирующий и охлаждающий слой при условии их равномерного распыления на различные поверхности [10]. Однако авиационная технология распыления воды, а также наземная гидравлическая техника не в состоянии обеспечить эффективное, масштабное и равномерное распыление вязких и липких составов.

До настоящего времени при тушении лесных пожаров широко применяется массовое десантирование парашютистов-пожарных со специальным снаряжением (жесткий шлем с проволочной маской, комбинезон из плотной ткани с прочными прокладками, устройство для спуска при зависании на дереве и подъема в крону дерева, топорик для обрубки сучьев при снятии с дерева купола парашюта). Исходя из размеров и веса этого защитного снаряжения, а также основного и запасного парашютов у десантников практически не остается места для огнетушащего снаряжения. Реально это могут быть только саперная лопатка, немного взрывчатки, малый (ранцевый) огнетушитель.

Теоретически возможно сбрасывание снаряжения и огнетушителей на отдельном парашюте, но практически найти этот парашют и принять груз в горящем лесу на подходе к очагу пожара далеко не простая задача, требующая много времени и значительных усилий. Поэтому, несмотря на массовый героизм пожарных-десантников, их возможности по тушению весьма ограничены — кромкой низового пожара и небольшими очагами-кострами. Наиболее эффективное огнетушащее воздействие, которое могут осуществить десантники, заключается в проведении взрывных работ.

Первые взрывные технологии, давно используемые для тушения лесных пожаров и требующие большого расхода взрывчатых веществ (ВВ), заключались в прокладке минерализованных огнепреградительных полос. Прокладку полос с помощью ВВ использовали главным образом в отдаленных и труд-

нодоступных местах, куда невозможно было достаточно быстро доставить машины с почвообрабатывающими приспособлениями [1, 5]. Прокладка полос шпуровым способом — очень трудоемкая технология: группа из четырех высококвалифицированных взрывников за час напряженной работы прокладывает не более 300 м минерализованной полосы. Технология взрывных работ сложна и включает в себя: разведку местности и выбор трассы с разметкой и устройством шпуров, поднос к ним зарядов ВВ и зарядку шпуров. Прокладка полосы эффективна в местах с редкой растительностью (трава, кусты и деревья). Прокладка полосы обычно осуществляется в тяжелых условиях сильного задымления и высокой температуры, так как она должна находиться не далее 100 м от кромки низового пожара и не далее 10 м от торфяного пожара. Это смертельно опасно, поскольку связано с риском провала рабочих в горячие торфяные ямы. Стволы деревьев, лежащие на трассе, перебивают взрывом накладных зарядов. Однако эта технология неприемлема для авиадесантных пожарных команд, так как требует большого количества ВВ и долговременных подготовительных работ [5, 10].

Менее трудоемок способ прокладывания минерализованной полосы с помощью накладных зарядов. Он эффективен при наличии небольшого наземного слоя горючей сухой травы и сухих кустов. Институтом леса и древесины СО АН России совместно с ФГУП “Красноармейский институт механизации” разработана новая технология прокладки минерализованной полосы: с вертолета, снижающегося до 30–40 м над трассой, прокладывают отрезки (до 200 м) удлиненного заряда, которые взрывают одним капсюлем-детонатором. При таком способе производительность возрастает в 8–10 раз: за час прокладывается полоса длиной до 3000 м. При этом к.п.д. использования энергии взрыва на выброс породы не превышает 40 %. Удельный расход взрывчатки — не менее 0,7–1,0 кг на 1 м минерализованной полосы шириной не более 1,5–2,0 м [6, 8]. Мощные, концентрированные заряды ВВ применяют для устройства противопожарных канав и водоемов при относительно неглубоком залегании подпочвенной воды. Весьма трудной современной организационной проблемой является привлечение для взрывных работ с целью тушения лесных пожаров достаточного числа высококвалифицированных, специально обученных специалистов, которые согласны работать с большим риском для жизни в труднодоступных зонах лесных пожаров.

Новую разработку — удлиненные, эффективные шланговые заряды для распыления воды взрывом при тушении лесных пожаров и для подавления пыли при демонтаже — предлагает германская фирма

“Wagner”. Достоинства этих зарядов — мобильность, компактность, надежность, высокая огнетушащая эффективность, простота и дешевизна.

Существует широко распространенное заблуждение, что лесной пожар можно “задуть”, т. е. сбить пламя мощной волной от взрыва системы из нескольких мощных зарядов или фугасных бомб, снарядов, боеголовок ракет, в том числе объемно-детонирующих (термобарических) боеприпасов, заранее расположенных на земле или подвешенных к деревьям в линию перед фронтом лесного пожара. Написан даже ряд научных работ, обосновывающих этот ударный механизм тушения [14]. Однако практика тушения пожаров убедительно доказывает, что нельзя автоматически переносить опыт успешного тушения газовых скважин взрывной волной на тушение лесных пожаров. Технология взрывного тушения газовой скважины предусматривает интенсивное охлаждение несколькими мощными струями воды устья скважины и всех раскаленных металлических поверхностей — источников повторного воспламенения вокруг скважины. Точно так же и обугленный слой горящего дерева необходимо не только разрушить, но и интенсивно охладить. Потому что иначе сбитое пламя быстро восстановится, а взрывная волна разнесет на значительные расстояния горящие фрагменты и в результате площадь пожара увеличится. Поток раскаленных газов от сильной взрывной волны скорее будет способствовать распространению пожара по массиву, а не тушить его. Во время войны фугасные бомбы и снаряды вызывали массу пожаров: сгорали леса, рощи, поселки, города. При этом не было зафиксировано ни одного случая тушения лесных пожаров при бомбежке.

Для тушения лесных пожаров может быть эффективно использование хорошо отработанных технических решений [5–7], позволяющих мелко распылять воду или жидкие огнетушащие составы в наиболее эффективном диапазоне высот — от земли до верхушек деревьев. Взрывное распыление в оптимальном динамическом диапазоне 250 л воды создает газовоздушный, мультивихревой шквал с концентрацией огнетушащего состава 50–100 г/м<sup>3</sup>, способный сбить пламя в слое высотой 5–6 м и диаметром 25–30 м (на площади 1000 м<sup>2</sup> или в объеме 5000–6000 м<sup>3</sup>). При этом скоростной напор и завихрения шквала создают многократное, проникающее воздействие преимущественно в этом объеме. В средней зоне шквала скорость достигает в начале его формирования 200–300 м/с, а на периферии — 15–20 м/с [7, 12].

Таким образом, в сравнении с традиционным сливом воды с самолета (вертолета) бомбовая точная доставка и взрывное тонкодисперсное распыление воды от 20 до 50 раз более эффективны для ту-

шения лесных пожаров. Точная бомбардировка позволяет без привлечения людей остановить фронт лесного пожара и локализовать зону пожара. Для этого могут быть использованы огнетушащие бомбы с зарядами разного вида. Использование объемно-детонирующего заряда массой 200–220 кг позволит создавать огнезащитные зоны диаметром от 50 до 60 м ( $1900\text{--}1800\text{ м}^2$ ), очищенные от листвы и мелких веток на деревьях, причем в эпицентре окажется зона диаметром от 25 до 30 м ( $460\text{--}710\text{ м}^2$ ), в значительной степени очищенная от подлеска и частично от травяного покрова. В зависимости от вида, высоты, густоты деревьев в лесу созданная зона может либо служить основой для подготовки огнезащитной полосы, либо выполнять эту задачу без вмешательства дополнительных сил и средств [7].

Авиационное тушение пожаров с управляемым разбросом кассетных огнетушащих элементов из контейнеров или стабилизированной кассеты позволит направленно формировать протяженные зоны тушения с заранее заданной конфигурацией, по которым рационально распределяются контейнеры с кассетными огнетушащими бомбами. Можно управлять шириной полосы их рассеивания от 120 до 300 м, при этом отклонение центра группировки бомб от заданного направления не превышает нескольких метров. Возможность управляемого сброса нескольких огнетушащих бомб с авианосителя позволяет эффективно накрывать и тушить от малого очага низового пожара до протяженного, широкого, быстро распространяющегося фронта верхового пожара, дистанционно создавать огнезащитные полосы без присутствия в зоне огня противопожарных подразделений.

Наличие огнетушащих бомб впервые сделает возможным привлечение военной авиации к решению задач по тушению лесных пожаров и ликвидации других последствий крупномасштабных катастроф без каких-либо затрат на модификацию самолетного и вертолетного парка. Как показал опыт Чернобыля (1986 г.), распылительные подвесные вертолетные бомбы наиболее эффективны при тушении локальных лесных пожаров и локализации радиоактивной пыли в зонах сильного радиационного заражения местности, так как позволяют полностью исключить или многократно сократить работу пожарных в радиоактивных зонах. Проблема обеспечения безопасности применения бомб решается конструктивно за счет применения легкого корпуса и малого распылительного заряда, не образующих при разрыве опасного осколочного и фугасного воздействия, а также регламентами порядка применения бомбовых средств.

Во Франции и Канаде накоплен некоторый опыт использования переносных огнетушащих порош-

ковых гранат (мин) при тушении лесных пожаров [5]. Граната представляет собой гильзу из специального картона, начиненную огнетушащим порошком и распылительным зарядом ВВ с наружным запальным, огнепроводным шнуром. Экспериментально установлено, что огнетушащая эффективность гранат определяется в основном направленностью распыления порошка, которая зависит от расположения корпуса относительно очага пожара и величины заряда ВВ. Первые образцы гранат имели корпус в форме шара, полушиария, шара с конусным отражателем или цилиндра и содержали от 1 до 3 кг порошка. Огнетушащая эффективность этих гранат была низкой, в основном из-за малого количества огнетушащего состава. В зависимости от вида пожара и огнетушащего состава существуют критические массы подаваемых огнетушащих составов. Если масса ОС больше критической, то на первый план для достижения эффективного тушения выдвигается фактор направленности огнетушащего потока. Наиболее высокая огнетушащая эффективность зафиксирована при использовании мин с цилиндрическим корпусом. Создана эффективная цилиндрическая конструкция — ствол с запасом огнетушащего порошка 10 кг, который за 5 мин способен создать огнетушащую полосу длиной до 40 м и шириной до 2 м. По данным сравнительных испытаний пять специально обученных пожарных-взрывников, используя всего 32 мины общей массой до 320 кг, ликвидируют лесной пожар, для тушения которого обычными средствами понадобилось бы две автоцистерны по 3200 л воды в каждой, мощные мотопомпы и 16 ручных стволов с интенсивностью подачи 20 л/с. Эта техника, обслуживаемая 40 пожарными, способна потушить лесной пожар не менее чем за 1,5–2 ч. Вместе с тем время тушения с помощью огнетушащих мин не превышает 10–15 мин. Эффективность тушения во многом определяется способом размещения мин на горящем участке леса [5].

В Российском НИИ противопожарной безопасности разработаны конструкции ручных гранат, содержащих от 0,5 до 1,5 кг огнетушащего порошка. Подобные конструкции разработаны и на Украине, а также в ряде европейских стран. Такие гранаты создают объемное, сферическое распыление огнетушащих составов, эффективное для тушения в замкнутых и полузамкнутых объемах, например в дуплах деревьев, пней или под сваленными деревьями. При этом лучшими огнетушащими составами являются вода, загущенная вода, водный раствор пенообразователя и другие растворы с низким коэффициентом поверхностного натяжения, обеспечивающие наибольший проникающий и охлаждающий эффекты [8, 9].

Кроме того, разработаны надежные, легкие, компактные, безопасные ствольные устройства с боеприпасами, способные быстро тушить локальные очаги — горящие деревья (малые группы деревьев), кустарник и кромку лесного низового пожара. Проведены исследования процессов направленного взрывного распыления жидких, вязких, порошковых и сыпучих огнетушащих составов и экологически чистых природных материалов. Изучены основные закономерности процессов образования, распространения и огнетушащего воздействия импульсных газодисперсных потоков с широким диапазоном конфигурации, размеров, кинетической энергии. Определены диапазоны динамических параметров потоков, обеспечивающие эффективное при тушении лесных пожаров разрушающее и охлаждающее воздействие на пламя, восходящие потоки продуктов сгорания, горящие обугленные поверхности [6, 12]. Разработаны простые и эффективные методы управления мощностью, масштабами, огнетушащей эффективностью и видом огнетушащего воздействия. Созданы, изготовлены и успешно испытаны в полигонных условиях простые и дешевые огнетушащие “боеприпасы” — конструкции взрывных, универсальных распылителей с высоким к.п.д. использования энергии взрыва для распыления ОС. Данные распылительные устройства, как стандартные боеприпасы, стably работают в широком диапазоне температурных (от минус 50 до +60 °C), климатических и погодных условий. Эти устройства способны обеспечивать эффективное распыление вязких, клейких композиций, в том числе полимеризующихся на воздухе и являющихся поэтому наиболее эффективными для тушения обугленных поверхностей древесины — стволов, веток.

Известны устройства сферического, полусферического распыления огнетушащего порошка, предназначенные для объемного тушения и предупреждения пожаров и взрывов в шахтах. Они имеют легкий корпус, состоящий в основном из сочетания решетчатых несущих конструкций и эластичной пленки, что практически исключает возможность образования поражающих осколков. Устройства содержат по 10–20 кг порошка и распылительный заряд до 150 г взрывчатого вещества. При их срабатывании создается сферическое облако с эффективным огнетушащим воздействием на локальные очаги горения в радиусе до 2,5–3 м. Эта направленность распыления неэффективна, так как огнетушащий газопорошковый фронт быстро теряет плотность и скорость вследствие разрушения его воздушной средой, образуя малоподвижное, неэффективное облако. Подобные устройства стационарного размещения — “Буран”, “Веер”, “Ураган”, “Мангуст” — производятся рядом россий-

ских фирм: “Эпотос” (Москва), “Источник” (Бийск), а также фирмами Китая и Таиланда [11].

Для тушения лесных низовых пожаров целесообразно применять взрывные устройства с легким корпусом, обеспечивающим равномерное высокоскоростное, сплошное, проникающее напыление порошка по поверхности. Например, конусное устройство, содержащее 100 кг огнетушащего порошка, 1 кг аммонита БЖВ, подвешенное на высоте 12 м, образует газодисперсный конусообразный поток, равномерно напыляющий порошок по поверхности круга радиусом до 8 м. При этом удельный расход порошка составляет до  $0,35 \text{ кг}/\text{м}^2$ , взрывчатого вещества — до  $0,0035 \text{ кг}/\text{м}^2$  (рис. 1). Огнетушащий эффект достигается за счет проникающего напыления огнетушащего порошка в конденсированную зону горения. Взрывная направленная подача расширяет сферы применения огнетушащего состава: например, порошок ПСБ-3, предназначенный лишь для тушения пожаров классов В, С, эффективно тушит высокотемпературную конденсированную зону расплава тротила, пластмассы или пористый обугленный слой горящих твердых материалов (пожар класса А) [5].

Зафиксирован стабильный эффект проникающего, всестороннего тушения не только фронтальных, но и боковых и задних (обратных) поверхностей относительно оси потока. Это объясняется наличием мультивихревой структуры и высоким уровнем кинетической энергии импульсного газодисперсного потока. Поэтому столкновение фронта потока с горящей сложной поверхностью приведет к многократным, локальным ударам по горящей поверхнос-



Рис. 1. Фрагмент распыления 100 кг огнетушащего порошка из подвесной “бомбы”

ти прямых и отраженных локальных вихрей, насыщенных тонкодисперсным ОС. Это экспериментально установлено при импульсном тушении штабелей ящиков, шпал, бревен, групп деревьев, зарослей, кустарника и высокой травы [11, 13].

Для образования заградительных полос созданы ствольные устройства в виде открытой с обеих сторон трубы, обеспечивающей одновременное двухстороннее распыление ОС. Испытан образец “трубы” — безоткатного ствола калибром 200 мм, в состав которого входит патрон двухстороннего действия с зарядом быстросгорающего пороха или низкоимпульсного ВВ (например, аммонит — СЖВ) массой менее 100 г и два контейнера, содержащих по 10 кг ОС каждый, с мембранными, торцевыми крышками, размещенными по обе стороны от распылительного заряда. При выстреле из этого ствола образуются два распространяющихся в противоположные стороны соосных импульсных потока, создающих сплошную полосу напыленного ОС общей длиной до 30 м и шириной до 1,2 м. Добавка песка, создавшего полуунепроницаемый лидер, позволяет снизить и стабилизировать разрушающее аэродинамическое сопротивление на огнетушащий поток. Корпус устройства, даже картонный, не разрушается при выстреле. Размещение этих устройств через 30 м друг от друга обеспечит создание эффективных огнетушащих и огнепреграждающих полос [9, 10].

Картонное одноразовое ствольное устройство одностороннего распыления, содержащее 15 кг ОС, создает газопорошковый поток длиной до 20 м и диаметром до 3 м. Применение многоразового, неразрушающего, прочного стального ствола позволяет увеличить дальность распространения газопорошкового потока до 40 м. Одновременный залп из восьми стволов многоствольной установки создает поток с дальностью действия до 70 м и шириной фронта до 15 м. Масса установки на салазках или колесиках составляет не менее 280 кг, масса распыляемого порошка — до 160 кг. На настоящий момент наиболее мощная 50-ствольная импульсная установка смонтирована на шасси танка. Залп из 10 стволов, распыляющий до 300 кг ОС, позволяет создать газодисперсный, огнетушащий поток с дальностью действия до 120 м и шириной фронта до 15 м, тушащий пожары на площади до 800 м<sup>2</sup> за время не более 2 с [10, 13].

Устройство дискового, радиального распыления, содержащее 20 кг ОС, создает дискообразный, плоский газопорошковый поток диаметром до 8 м, высотой до 0,5 м, скользящий над поверхностью земли. Оно эффективно работает в густой траве, пригибая ее к земле и обеспечивая тем самым равномерное напыление ОС по толще травяного покрова [3, 4]. Установлено, что дисковые, ствольные, конусные

устройства целесообразно использовать при борьбе с низовыми пожарами для прокладки заградительных полос. Устройства могут эффективно распылять различные огнетушащие составы — порошок, песок, воду, вязкие составы, а также впервые в мире — экологически чистые природные материалы: грунт, грязь, песок, пыль [10, 12]. Показано, что данные устройства целесообразно располагать таким образом, чтобы зоны их сплошного эффективного распыления взаимно перекрывали друг друга на величину, составляющую: до 20 % расстояния между соседними устройствами и до 15 % от диаметров огнетушащих облаков. За счет взаимного усиления действия соседних огнетушащих потоков суммарная площадь зоны эффективного тушения будет до 2–2,5 раз превышать арифметическую сумму их площадей тушения [12, 13].

На базе ствольных устройств созданы миниогнетушители вместимостью 0,5 кг ОС и профессиональные огнетушители (рис. 2) вместимостью по порошку до 2 л и по жидкости до 1 л в контейнере, с относительно низкой себестоимостью, высокими показателями по дальности — 3 и 20 м, а также по площади тушения — от 1 до 10 м<sup>2</sup> при одном выстреле. Данные огнетушители, особенно профессиональный, пригодны для тушения низовых, лесных пожаров и горящих отдельных деревьев, кустарника, пней, поваленных деревьев. Самое главное преимущество профессионального огнетушителя — возможность эффективно использовать экологически чистые природные материалы: воду с примесями, грунт, грязь, песок, пыль, что впервые дает возможность работать длительное время в автономном режиме пожарным — десантникам, имеющим лишь небольшой запас холостых патронов калибром 12 или 16 мм.

Проведены комплексные испытания по тушению различных очагов лесных пожаров: горящих твердых материалов — дерева объемом до 0,6 м<sup>3</sup>, горящих жидкостей — бензина площадью до 3 м<sup>2</sup>. В результате экспериментальных исследований установлены зависимости изменения дальности эффектив-



Рис. 2. Импульсные “вседенные” огнетушители с распылительными порошковыми зарядами

ного тушения модельных очагов лесного пожара импульсными газоводяными струями в зависимости от их начальной скорости  $V_0$  и угла встречи фронта струй с горящей поверхностью. Отработаны режимы импульсных струй, при которых достигается площадь тушения до  $20 \text{ м}^2$ , дальность — до 17 м, высота — до 15 м, что дает реальную возможность тушить отдельные горящие деревья. При распылении 1 л воды достигается дальность тушения до 12 м, высота — до 9 м и площадь — до  $8 \text{ м}^2$ . Успешно распыляются различные виды пыли, песка, сухого и мокрого грунта.

Использование данного огнетушителя по сравнению с лучшими современными образцами огнетушителей имеет следующие преимущества:

- площадь и дальность тушения в 3–5 раз больше, что обеспечивает безопасность пожарного по двум основным показателям: время тушения сокращается, а дистанция, с которой осуществляется огнетушащее воздействие, наоборот, увеличивается;
- многократное, простое и быстрое перезаряжание в зоне тушения;
- эффективное использование экологически чистых, легкодоступных материалов в качестве огнетушащих составов;
- высокая точность тушения;
- простота обслуживания и управления, для чего не требуется высокой квалификации;
- комбинированное тушение из одного огнетушителя;
- возможность дистанционной светотеплозасчеты, предупреждения взрывов и локализации выбросов активных материалов.

Менее совершенны разработки импульсной, пневматической техники, создающей высокоэффективные в огнетушащем отношении струи тонкораспыленной воды. Однако стоимость такой техники очень высока. Так, промышленно выпускаемые в Германии и на Украине ранцевые огнетушители стоят до 6,5 тыс. долл. США, 6-ствольная пушка для подъемников — до 25 тыс. долл. США, 4-ствольная для тяжелых гусеничных шасси — до 150 тыс. долл. США, 1-ствольная для джипа и вертолета — до 100 тыс. долл. США. Другим недостатком их является малый корпус, вследствие чего эффективность их действия в 3–5 раз ниже, чем у вышеописанной импульсной взрывной техники. Импульсные пневматические системы создают известную опасность при эксплуатации, как емкости высокого давления ( $300$  и  $500 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). Сравнительные характеристики импульсной пневматической и взрывной техники приводятся в табл. 1.

Анализ вышеизложенного показывает значительные преимущества импульсной техники, использу-

ющей энергию направленной взрывной волны, создаваемой малыми зарядами быстросгорающих порохов или низкоимпульсных взрывчатых веществ:

- дешевизна, простота производства и практического применения;
- “всеядность” в отношении использования любых огнетушащих составов и природных материалов, экологически чистых, с весьма высокой эффективностью тушения различных пожаров, в том числе горящих стволов деревьев, веток, лиственного покрова, слоя опавшей листвы, кустарника;
- высокая эффективность, быстрота и масштабность воздействия;
- малые удельные расходы огнетушащих составов и природных материалов;
- отсутствие необходимости применять для тушения в больших количествах экологически вредные вещества, например морскую воду, по крайней мере в количествах, убивающих природу на потушенных территориях на много лет вперед, а также токсичные и раздражающие огнетушащие составы;
- масштабное распыление наиболее эффективных для тушения лесных пожаров вязких и клейких веществ, образующих на обугленной поверхности стойкие герметичные пленки;
- полная безопасность для людей, попавших под воздействие этой техники;
- реальная возможность эффективного масштабного спасения людей, попавших в зону пожара; своевременное создание эвакуационного пути.

Необходимо создание новых методов и техники, обеспечивающих тушение на качественно новом уровне высокоэффективно, высокоточно и быстро. Это может быть реализовано новым методом направленного импульсного распыления воды с помощью создания газодисперсного потока с высокой кинетической энергией фронта потока и заданной конфигурацией этого фронта. При этом ускоряющая и несущая тонкораспыленную воду газовая фаза предохраняет капли воды от разрушающего и тормозящего воздействия аэродинамического сопротивления. Новая техника, реализующая этот метод, многократно опробована в чрезвычайных ситуациях (Чернобыльская зона, химические аварии, бысторазвивающиеся пожары в горах Крыма, Карпат, Южного Урала), в условиях, когда другая техника оказалась непригодной. Например, в Чернобыле необходимо было потушить высохший лес с уровнем радиации до  $2500 \text{ р/ч}$ , при этом удельный расход воды допускался не более  $1 \text{ л}/\text{м}^2$  по причине исключения эффекта усиления распространения радиации в атмосфере и в глубь почвы. Задача успешно решалась с мая по ноябрь до зимних дождей и снега,

**Таблица 1.** Сравнительные характеристики главных тактико-технических параметров

Вид импульсной техники	Параметры воздействия		Объем, м <sup>3</sup>	Масса огнетушащего состава/Общая масса, кг	Себестоимость/ Стоимость продажи, долл. США
	Дальность, м	Площадь, м <sup>2</sup>			
Носимый импульсный пороховой мини-огнетушитель “Импульс-1/05”	3–5	1,0–1,5	2–3	0,5/0,8	2,5/15
Ранцевый огнетушитель IFEX-3012	1–2	10–15	15	10/19	4500/11500
Импульсный переносной огнетушитель:					
одноствольный “Импульс-1/2”	10–20	15–120	30–200	12/18	200/800
трехствольный	3–5	4–6	8–12	2,0/5,5	100/250
пятиствольный	10–15	12–40	25–80	7,5/12	300/300
Пневматический огнетушитель IFEX на тележке	0,5–2,0	50–75	100–150	50/90	5500/25000
Импульсный пороховой огнетушитель:					
на тележке	20–40	60–120	120–250	60/90	1000/5000
“Импульс-6/10” на подъемнике	20–40	60–120	120–250	60/120	3000/7500
Пневматический шестиствольный модуль IFEX на подъемнике	10–20	60–120	100–200	60/150	15000/40000
Пневматический одноствольный модуль IFEX на джипе	10–40	800–1200	1400–2000	1000/2000	150000/500000
Импульсный модуль:					
20-ствольный на джипе “Импульс-6”					
50-ствольный на шасси танка, трактора, тягача, грузовой машины “Импульс-3М”	40–80 80–120	1000–1500 2000–3000	2000–3000 4000–7500	400 (20×20)/700 1500 (50×30)/4500	25000/100000 45000/150000
Пневматический модуль IFEX на вертолете	10–40	800–1200	1400–2000	1000/2000	75000/250000
Импульсный подвесной многобомбовый модуль на вертолете “Импульс-9/200”	50–120	1300–2000	2000–3000	1800 (9×200)/2900	10000/35000
Стоимость 1 бомбы					100/200

при этом удалось спасти сотни жизней пожарных, избежав их захода в смертельно опасную зону.

Реально возможно на базе оборонных предприятий и фирм создать производство новой пожарной техники, способной решить проблему тушения лесных пожаров в России в настоящее время и в будущем при существующей тенденции к увеличению их количества, масштабов и скорости распространения. При этом не Россия будет нуждаться в помощи иностранных пожарных подразделений, а российские пожарные команды, хорошо показавшие себя не только в Израиле, но и в ряде других стран, смогут тушить пожары лучше всех в мире.

Для быстрой реализации этого проекта до начала следующего пожарного сезона, возможно, будет необходимо привлечь несколько оборонных израильских фирм, что делает целесообразным создание головной фирмы, обеспечивающей получение заказа от государства.

Для этого необходимо политическое решение, так как новая техника не соответствует существующим стандартам. Другого пути нет, ибо традиционная техника давно достигла предела своего совершенства: ее модернизации на протяжении ряда

лет не дают заметного повышения ее эффективности на фоне многократного увеличения стоимости. Главное, традиционная техника реально не способна своевременно и надежно защитить людей и экологию окружающей среды от пожаров — наиболее разрушительного явления современного мира.

Из вышеприведенного обзора, помимо “вседневного” дальнобойного огнетушителя, перспективным направлением исследований является разработка конструкции и методики применения огнетушащих бомб (см. рис. 1), которые уже успешно применялись при ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы, тушении лесных пожаров в горах Крыма, Карпат, Южного Урала.

Отработка методики подрыва бомбы позволила фактически пренебречь неизбежным раскачиванием груза под вертолетом. Достаточно было поймать момент прохождения “груза” — распылительной бомбы над пожаром или около него и осуществить электроподрыв. Бомба создавала конусообразный импульсный вихрь распыленного ОС с широким мощным фронтом, который обеспечивал эффективное, мгновенное, сплошное тушение верхового и низового пожара на заданной площади.

**Таблица 2.** Сравнительная таблица авиационных систем для тушения лесных пожаров

Система	Импульсный метод		Традиционный метод
	Сбрасываемые бомбы (Базальт)	Платформа подвесная (Захм.)	
Тушащая эффективность, %	10–30	60–90	1–3
Масса, кг/Удельный расход, кг/м <sup>2</sup>	330/2–3	160/0,5–0,7	3000/10–50
Высота полета авиааппарата, м	100–3000	100–3000	< 200
Параметры тушения:			
высота тушения от земли, м	1–3	10–30	10–50
точность “бомбекки”	Высокая	Высокая	Низкая
площадь тушения, м <sup>2</sup>	80–110	220–250	100–150
площадь сбития пламени, м <sup>2</sup>	1000	250–310	1500–2500
Стоимость тушения 1 м <sup>2</sup> , долл. США	20–30	0,9–1,4	20–30
Распыляемое вещество	Вода, водяные тушащие растворы	Вода, растворы, гели, грязь, земля	Вода
Выход людей из зоны, окруженной огнем	Невозможен: опасно для жизни	Эффективен: безопасно для жизни	Неэффективен
Разрушения при тушении	Да	Нет	Нет

До распада СССР относительно медленными темпами шла внедренческая работа, причем те, кто не был в Чернобыльской зоне, оказались самыми придирчивыми критиками новой технологии. После распада СССР государственное финансирование работ прекратилось, а прикладные исследования велись по мере финансирования их из различных источников. Поэтому до настоящего времени лишь одна конструкция огнетушащей бомбы на базе корпуса боевой объемно-детонирующей бомбы доведена на НПО “Базальт” до внедрения [8]. Это не самая эффективная огнетушающая бомба (табл. 2), но ее основное достоинство состоит в том, что впервые в мире стало возможным без каких-либо дополнительных переделок по боевой тревоге оснащать этими бомбами боевую авиацию и высокоточно, эффективно использовать их для тушения лесных пожаров с безопасных высот.

Импульсную защитную технику можно использовать самостоятельно или в комбинации с традиционной техникой. Каждый вид техники будет выполнять свойственные ему задачи: импульсная — крупномасштабное мощное воздействие, традиционная — последующее локальное воздействие для подавления очагов повторной активности, например повторного возгорания. Тактику использования импульсной техники можно окончательно отработать только при достаточно широком ее практическом

применении. Использование импульсной техники имеет следующие преимущества:

- эффективное тушение с помощью малых количеств огнетушащих составов и впервые с помощью экологически чистых природных материалов — грунта, грязи, песка, пыли;
- сокращение в 3–15 раз числа вылетов самолетов и вертолетов для тушения лесных пожаров;
- значительное качественное повышение эффективности и масштабов действия пожарных десантников;
- многократное уменьшение расходов на тушение лесных пожаров;
- возможность эффективного использования военной авиации для тушения крупномасштабных верховых лесных пожаров. Может стать вполне реальным тушение ряда очагов лесного пожара при одном вылете вертолета с подвесной много-бомбовой платформой.

Приведенный обзор различных разработок для тушения лесных пожаров показывает относительно широкий выбор средств тушения лесных пожаров. Остается только надеяться, что руководство МЧС России и пожарные службы других стран будут обладать достаточными финансовыми возможностями и, главное, желанием отказаться от привычных методов, основанных на массовом героизме, и перейдут к методам тушения лесных пожаров на основе высокоэффективной техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунин А. Т. Формирование гражданской обороны в борьбе со стихийными бедствиями. — М. : Стройиздат, 1978. — 245 с.
2. Гаспар Ф. Полет над гнездом пожаров (Португалия) // Revista. — № 1440 от 3.09.1994.

3. Довідка щодо захисту лісів, торф'яників та сільгоспугідь у весняно-літній пожежонебезпечний період 1998–2005 років. — Міністерство у справах надзвичайних ситуацій України, 2005.
4. Гайдей В. В., Ковалев С. А., Щербак Н. В. Разработка заряда для остановки фронта лесного пожара // Збірник наукових праць. — № 2(12). — Севастополь, 2007. — С. 256.
5. Захматов В. Д., Дьяков В. В. Взрывные средства тушения лесных пожаров // Лесное хозяйство. — 1987. — № 4. — С. 25–29.
6. Захматов В. Д., Откідач Н. Я., Щербак Н. В. Новые методы и техника для тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 1998. — Т. 7, № 4. — С. 69–76.
7. Обухов А. С., Кореньков В. В. Система авиационных бомбовых средств для тушения и локализации лесных пожаров и подавления зон огневого шторма при технических авариях и катастрофах // Материалы совещания УПО Московской обл. Июнь, 2001. — М., 2001. — С. 72–81.
8. Zakhmatov V. D. Impulse extinguishing from the Ukraine // Fire International U. K. — 1998–1999. — № 2. — Р. 29.
9. Zakhmatov V. D. Firefighters in radioactive zones — the Chernobyl experience // Five International U. K. — 1999. — № 1. — Р. 27–28.
10. Щербак Н. В., Захматов В. Д. Оснащение войсковых частей импульсной техникой для ликвидации последствий экологических катастроф // Экология и ресурсы. — Вип. 19. — Київ, 2008. — С. 73–79.
11. Щербак Н. В., Захматов В. Д. Создание техники импульсного тушения лесных пожаров и многоплановой защиты лесов в рамках программы "Конверсия" // Арсенал XXI века. — 1999. — № 1. — С. 47–50.
12. Гайдей В. В., Ковалев С. А., Щербак Н. В. Разработка заряда для остановки фронта лесного пожара // Збірник наукових праць. — № 2(12). — Севастополь, 2007. — С. 256.
13. Захматов В. Д. Импульсная техника в Чернобыле // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 4. — С. 49–52.
14. Гришин А. М., Зверев Е. Г. Воспламенение полосы леса при верховых пожарах и расчет ширины противопожарных заслонов // Физика горения и взрыва. — 1982. — № 5. — С. 3–11.

*Материал поступил в редакцию 12 ноября 2010 г.  
Электронный адрес автора: z-impulse@rambler.ru.*



ООО “Издательство “Пожнаука”  
121352, г. Москва, а/я 43  
тел./факс: (495) 228-09-03, 737-65-74  
e-mail: mail@firepress.ru, izdat\_pozhnauka@mail.ru  
<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	Стоимость 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**

**Февраль 2011 г.**

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
<b>НОВИНКИ</b>			
<b>Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!</b>			
	<b>Своды правил. Системы противопожарной защиты.</b> — 2009. — 618 с.	Электронная версия	<b>500</b>
	<b>Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”.</b> — 2010. — 150 с.		<b>220</b>
Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.	<b>Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения безопасности объектов:</b> учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	<b>380</b>
Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И.	<b>Автоматические установки пожаротушения:</b> учебно-справочное пособие. — 2010.	Готовится к выпуску	
Корольченко А. Я.	<b>Пожарная опасность материалов для строительства:</b> учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	<b>350</b>
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	<b>Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности.</b> — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	<b>250</b>
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	<b>Средства огне- и биозащиты.</b> — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.	<b>БЕСПЛАТНО</b>	
Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.	<b>Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение.</b> — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	<b>140</b>
Пилигин Л. П.	<b>Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов.</b> — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	<b>450</b>
Смелков Г. И.	<b>Пожарная безопасность электропроводок.</b> — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	<b>540</b>
Черкасов В. Н., Зыков В. И.	<b>Обеспечение пожарной безопасности электроустановок:</b> ученое пособие. — 2010. — 430 с.	978-5-91444-020-3	<b>470</b>
Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	<b>Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации:</b> учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; Ч. 2. — 300 с.	978-5-91444-008-1	<b>950</b>
<b>СУПЕРСКИДКИ</b>			
Баранин В. Н.	<b>Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками.</b> — 2004. — 332 с.	5-901-283-02-5	<b>70</b>
Любимов М. М., Собурь С. В.	<b>Пожарная и охранно-пожарная сигнализация:</b> справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2008. — 384 с.: ил.	978-5-98629-001-2	<b>180</b>
Собурь С. В.	<b>Заполнение проемов в противопожарных преградах:</b> пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	<b>90</b>
Собурь С. В.	<b>Пожарная безопасность:</b> справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	<b>50</b>
Собурь С. В.	<b>Пожарная безопасность общественных и жилых зданий:</b> справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил.	978-5-98629-014-0	<b>125</b>
Собурь С. В.	<b>Пожарная безопасность промпредприятий:</b> справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с.	5-98629-013-5	<b>110</b>
Собурь С. В.	<b>Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий:</b> справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	<b>36</b>

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Собурь С. В.	<b>Установки пожарной сигнализации:</b> учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	<b>150</b>
Собурь С. В.	<b>Установки пожаротушения автоматические:</b> справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	<b>50</b>
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	<b>Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро:</b> учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	<b>280</b>
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушинский А. В.	<b>Леса, торфяники, лесосклады.</b> — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	<b>280</b>
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушинский А. В.	<b>Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов:</b> учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	<b>280</b>
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	<b>Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение.</b> — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	<b>120</b>
Бондарь В. А.	<b>Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности.</b> — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	<b>220</b>
Брушилинский Н. Н., Корольченко А. Я.	<b>Моделирование пожаров и взрывов.</b> — 2000. — 492 с.		<b>540</b>
Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.	<b>Газодымозащитная служба:</b> учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	<b>350</b>
Грачев В. А., Собурь С. В.	<b>Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД):</b> пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	<b>345</b>
Корольченко А. Я.	<b>Процессы горения и взрыва:</b> учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	<b>450</b>
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	<b>Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума:</b> учебное пособие. — 2008. — 314 с.	5-903049-10-9	<b>300</b>
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	<b>Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения:</b> справочник: в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	<b>2500</b>
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	<b>Средства огнезащиты.</b> — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	<b>540</b>
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	<b>Пожарная опасность строительных материалов:</b> учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	<b>250</b>
Пилигин Л. П.	<b>Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций.</b> — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	<b>240</b>
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	<b>Справочник спасателя-пожарного:</b> справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	<b>385</b>
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	<b>Основы пожарного дела:</b> учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	<b>390</b>
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	<b>Организация службы начальника караула пожарной части:</b> пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	<b>340</b>
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	<b>Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка:</b> учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	<b>460</b>

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Подгрушный А. В.	<b>Пожарная тактика. Основы тушения пожаров.</b> — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	<b>595</b>
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	<b>Организация службы пожарной части: учебное пособие.</b> — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	<b>460</b>
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушный А. В., Грачев В. А.	<b>Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие.</b> — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	<b>330</b>
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	<b>Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка:</b> учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	<b>420</b>
	<b>Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия</b>		<b>980</b>

## ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

**ООО “Издательство “Пожнаука” предлагает подписку на 2011 г.  
на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность”  
и “Пожарная безопасность в строительстве”.**

	Стоимость, руб.
<b>ПОЛУГОДИЕ</b>	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	<b>3790</b>
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	<b>1140</b>
<b>ГОД</b>	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (12 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	<b>7080</b> <b>(экономия 500 руб.)</b>
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	<b>2080</b> <b>(экономия 200 руб.)</b>

**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 “ИНТЕР-ПОЧТА”	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство “УРАЛ-ПРЕСС ХХI”	(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	—

**Образец заявки для оформления заказа на литературу**

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 25 % от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

**Для БЕСПЛАТНОГО получения справочника “СРЕДСТВА ОГНЕ-И БИОЗАЩИТЫ”:**

1. Заполните все поля анкеты:

Название организации	
Профиль деятельности	
Почтовый адрес (индекс)	
Контактное лицо	
Должность	
Телефон рабочий	Код ( )
Факс	Код ( )
Способ получения (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Наложенным платежом (Вы оплачиваете только стоимость пересылки из г. Москвы до вашего города) <input type="checkbox"/> Курьером (по г. Москве) — стоимость 150 руб. <input type="checkbox"/> Самовывоз (со склада издательства “Пожнаука” в г. Москве)
Откуда узнали о справочнике (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Из журнала <input type="checkbox"/> Из интернет-рассылки <input type="checkbox"/> На выставке <input type="checkbox"/> На сайте издательства <input type="checkbox"/> Другое

2. Пришлите анкету удобным для Вас способом — по факсу или электронной почте.

*Желающие сделать заказ в “Издательстве “Пожнаука” (г. Москва)  
могут отправить заявку в отдел распространения:*

- по почте: 121352, г. Москва, а/я 43;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, 737-65-74;
- по e-mail: mail@firepress.ru, izdat\_pozhnauka@mail.ru



## 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](mailto: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  $\bar{O}$ ); 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 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

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.*

## The Dispatcher as Two-Phase System of Mass Service

**Klyui V. V.**, Cand. of Pedagogics, Head of Department of Saint-Petersburg University of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Saint-Petersburg, Russia

**Manin P. A.**, Postgraduate Student of Saint-Petersburg University of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Saint-Petersburg, Russia

**Tarantsev A. A.**, Dr. of Technics, Professor, Professor of Saint-Petersburg University of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Saint-Petersburg, Russia

Model of working dispatcher that serves requests of two phases for one channel system of mass service is considered. Analytical expressions for evaluation of state probabilities and characteristics of such system are received. Calculations for cases of different and same durations of stages are realized.

**Keywords:** the dispatcher; emergency services; service of requests.

## International Internet Resources Survey for Decision of Theoretical and Applied Fire Safety Issues

**Yudina T. A.**, Editor, Independent Noncommercial Organization "Applied Research Centre "Fire Safety", Moscow, Russia

The fire safety specialists need to have access to actual theoretical and practical studies for their professional development. The most part of the studies are published in English nowadays and there is language barrier for specialists who don't feel free to use it. In any case there are too many resources to keep in touch with the latest news. The editors from the Applied Research Centre "Fire Safety" make surveys of foreign state and public programs, theoretical studies of leading international organizations (NFPA, NIST, and IAFSS etc.), publications in journals. Our goal is to help professional community to be right up to date in current fire safety issues.

**Keywords:** internet-resources survey; professional development; publications.

## Influence of Ground Lightning Discharge M-Components on Process of Deciduous Tree Ignition

**Baranovskiy N. V.**, Cand. of Physics-Mathematics, Senior Research Assistant of Isolate Organization Development of Scientific-Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

**Kuznetsov G. V.**, Dr. of Physics-Mathematics, Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The estimation of influence of M-components of ground lightning discharge is lead on the basis of one-dimensional two-layer physical and mathematical model of deciduous tree (birch) ignition. The problem is solved in cylindrical system of coordinates. Typical ground lightning discharges

are considered. The estimation of influence of M-components is lead for a typical range of change of their characteristics.

**Keywords:** ignition; ground lightning discharge; M-component.

## The Estimation of Oil and Lacquer Fire Hazard by Indirect Methods

**Lytvinenko I. V.**, Senior Engineer of Research and Testing Laboratory of the Main Emergency Department in the Chernigov Region of Ukraine, Chernigov, Ukraine

**Shcherbina V. S.**, Senior Associate of the Academy of Fire Safety named by Chernobyl Heroes, Cherkassy, Ukraine

**Yelagin G. I.**, Cand. of Chemistry, Senior Researcher, Professor of the Academy of Fire Safety named by Chernobyl Heroes, Cherkassy, Ukraine

The method of approximate estimation of oil and lacquer fire hazard is suggested. This method is simple and available in the laboratory conditions. It permits to use the minimum of experimental data and all of them are obtained by means of titration analysis. The authors give the examples of the method used for the initial estimation of the fire hazard of eight varnish and lacquer samples.

**Keywords:** fire hazard; the heat of combustion; spontaneous combustion; flash point; fats; oils; monoglycerides; molecular weight; acid number; saponification number; spirit part; acid residue; iodine number.

## The Numerical Analysis of Process of Steam Formation Due to Evaporation of Accident Spill of Liquefied Gas

**Starovoitova E. V.**, Postgraduate Student of Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

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

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

The numerical analysis results of the influence of meteorological conditions on evaporation rate of liquefied gas due to accident spill are presented.

**Keywords:** accident spill; liquefied gas; evaporation; numerical simulation.

## Consideration of Secondary Air Streams at Mathematical Modelling of the Atomized Water Jets

**Vynogradov A. G.**, Cand. of Physics-Mathematics, Associate Professor, Chief of Department of Physics and Heat-Transfer of Fire Safety Academy named by Chernobyl Heroes, Cherkassy, Ukraine

The one-dimensional mathematical model of motion in an air environment of homogeneous stream of identical spherical drops of liquid is presented. Calculation formulas for determination of spatial distribution of velocities of drops and air and for the equilibrium velocity of their steady movement are obtained. Numeral calculations are fulfilled and graphic dependences are presented.

**Keywords:** atomized water jets; air streams; theoretical calculation.

### **Influence of the Area and Quantity of the Exhaust Inlets Depending on the Expense of Deleted Products of Burning on Overall Performance Impulse Smoke Ventilation of the Enclosed Car Parks**

*Kalmykov S. P., Research Assistant of Education and Research Centre "Fire Safety in Construction" of Fire Fighting Service of State Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia*

On the basis of mathematical modeling research of influence of the area and quantity of the exhaust inlets depending on the expense of deleted products of burning on overall performance impulse smoke ventilation of the enclosed car parks. Sizes of the total area exhaust inlets and the expense of deleted products of burning from a car park.

**Keywords:** impulse smoke ventilation; smoke control system; enclosed car parks.

### **Supporting Safety of People under Fires in Buildings by the Use of the Respiratory Protective Devices.**

#### **Part 1. Modern Respiratory Protective Devices for Protection Respiratory and Vision**

*Bushmanov S. A., Postgraduate Student of the Department Fire Safety at Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

Considered types of modern respiratory protective devices and causes leading to deaths. Given classification and regulatory requirements for respiratory protective devices. Given an aspect of the causes is preferable to use respiratory protective devices in buildings. Introduced the concept of rescue. Given the basic technical characteristics of the filtering devices. Provides a way to test the effectiveness of their application in buildings.

**Keywords:** respiratory protective device (RPD); the National Standard of the Russian Federation; evacuation; rescue.

### **Perspective Modern Development of Fire-Fighting Technique and Novelties for Forest Fire-Fighting**

*Zahmatov V. D., Dr. of Technics, Professor of ICAGIC NASU, Kiev, Ukraine*

The comparison review of modern fire-fighting technique and novelties for forest fire-fighting is done. There discussed various new forest fire-fighting technique all over the world, including pulse water pneumatically pulverization devices and pulse gunpowder universal pulverization devices and units. There are examples of its effective usage for forest fire-fighting at Ukraine, Russia, Israel, and Poland. There are recommendations for new forest fire-fighting technique go to practice.

**Keywords:** upper and ground forest fires; flame, gas and condensed fire's zones; hydraulic and pneumatic technique; aviation extinguishing bombs; fixed pulverization devices; handle extinguishers of universal pulverization; universal multibarrels units.

**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. Кирюхантцев

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

Редактор  
Л. В. Крылова

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

Editor  
L. V. Krylova

PR and Subscription Section:  
E. V. Maiorova

**Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”**

Тел./факс: (495) 228-09-03, 737-65-74

121352, г. Москва, а/я 43

E-mail: mail@firepress.ru, izdat\_pozhnauka@mail.ru

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 04.02.11.

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 2011 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 7080 руб. (в том числе НДС — 18 %).



### **ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2011**

Издание	Цена подписки, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	3790 7080		
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	1140 2080		

- 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) 737 65 74 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: 121357, г. Москва, а/я 43  
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001  
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва  
К/с 30101810600000000119  
БИК 044583119  
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

*По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам  
(495) 228-09-03, 737-65-74*

#### **ПОДПИСКА:**

*через ООО “Издательство “Пожнauка”;*

*через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;*

*через агентство “АПР”, индекс 83647*

*(в любом почтовом отделении в каталоге “Газеты и журналы”);*

*через подписные агентства:*

*ООО “Интер-почтa”, ООО “Урал-Пресс XXI”,*

*ООО “Артос-ГАЛ”, ООО “Информнаука”, ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”*

**Вы можете также отдельно подписаться 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 2080 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Расширяя тематику журнала, в 2011 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	



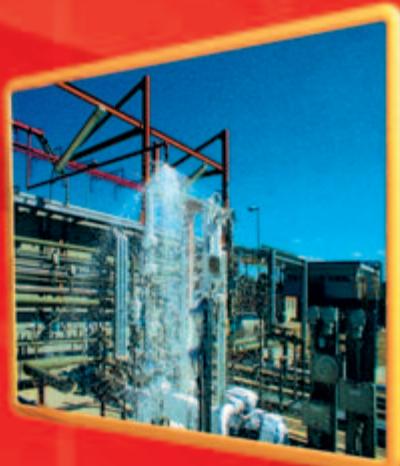
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

121352, г. Москва,  
ул. Давыдковская, д. 12, стр. 3  
Тел./факс: (495) 735-28-13  
E-mail: gefest-fire@mail.ru  
[www.gefestnpk.ru](http://www.gefestnpk.ru)

## ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

### Шторм-М 3/6

**высокоэффективный  
пленкообразующий  
синтетический  
фторсодержащий  
пенообразователь  
типа АFFF 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



9 770869 749006

РЕКЛАМА