

# ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 3'2007

**Особенности оценки горючести материалов, склонных к тлению**

**Нагрев резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием пожара**

**Исследование эффективности огнезащитных составов на основе амидофосфата**



**Система дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа**

**Моделирование процесса горения газовоздушной смеси методом крупных частиц**

**Эффективность тушения пожаров с применением стволовых установок**

# ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 16 • №3 • 2007

## FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал  
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

- Х юбилейный строительный форум "Южная столица",  
12–14 апреля 2007 г., г. Ростов-на-Дону**

3

### ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

- Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А.** Моделирование процесса горения газовоздушной смеси методом крупных частиц

6

- Барботько С. Л.** Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения

10

### ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

- Смирнов М. С., Букин А. С.** Особенности оценки горючести материалов, склонных к тлению

25

### ОГНЕЗАЩИТА

- Афанасьев С. В., Коротков Р. В., Кузьмин И. В., Триполицын А. А.** Исследование эффективности огнезащитных составов на основе амидофосфата

28

### ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

- Солнцев Н. Д.** К вопросу огнестойкости воздуховодов систем противодымной защиты городских автотранспортных тоннелей

32

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

- Абрамов Ю. А., Басманов А. Е.** Нагрев резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием пожара

36

- Пузач С. В., Горностаев Р. П.** Некоторые особенности тепломассообмена при мгновенном вскрытии проема в помещении при пожаре

43

(продолжение на следующей странице)

## **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ**

**Бахарев К. С., Гусев Н. Н., Малыгин И. Г.** Проблемные вопросы создания региональной информационной системы мониторинга гидротехнических сооружений, объектов водозабора и водоочистки **48**

**Есин В. М., Калмыков С. П.** Обоснование основных параметров, обеспечивающих эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов **54**

## **СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ**

**Воевода С. С., Маркеев В. А., Маркеев А. В.** Влияние состава углеводородного топлива и жесткости воды на коллоидно-химические характеристики раствора пленкообразующего пенообразователя **63**

## **ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ**

**Тощев Н. А., Андреев А. П., Воевода С. С., Герасимова И. Н.** Тушение гидролизующихся элементоорганических горючих жидкостей пеной **66**

**Каришин А. В., Царев А. М., Жуйков Д. А., Яковлев Г. Г.** Решение проблемы эффективности тушения пожаров с применением стволовых установок контейнерной доставки огнетушащих веществ **72**

## **ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК**

**83**

---

Журнал включен в “Реферативный журнал” и Базы данных ВИНИТИ.  
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.

## Х ЮБИЛЕЙНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ “ЮЖНАЯ СТОЛИЦА”

**С** 12 по 14 апреля в Ростове-на-Дону состоялся X юбилейный строительный форум “Южная столица”. Организаторами выступили ВЦ “Ростэкс – выставки Юга России” при поддержке Министерства строительства, архитектуры и ЖКХ Ростовской области, Министерства экономики, торговли, международных и внешнеэкономических связей Ростовской области.

Строительный форум “Южная Столица” проходит в Ростове-на-Дону с 2001 г. и за это время стал визитной карточкой компании-организатора – ВЦ “Ростэкс”. Ежегодно площадка Форума объединяет специалистов из разных регионов страны и зарубежья, а широкие экспозиции демонстрируют новейшие достижения стройиндустрии: технологии, материалы и оборудование, ориентированные, прежде всего, на специфику строительного комплекса Южного федерального округа.

В этом году в работе Форума приняли участие ведущие компании из Москвы, Санкт-Петербурга, Ставропольского и Краснодарского краев, Ростовской, Волгоградской, Владимирской, Липецкой и Челябинской областей, стран СНГ и дальнего зарубежья.

В рамках Форума прошла специализированная выставка средств и технологий промышленной, пожарной и экологической безопасности, безопасности бизнеса и личности “Безопасный город”.

Необходимость проведения выставки по данной тематике вызвана, прежде всего, сложной экологической ситуацией и имеющими место сбоями систем безопасности промышленных и гражданских объектов в ряде регионов РФ, в том числе и в Южном федеральном округе.

Безопасность бизнеса и граждан не обеспечивается в должной мере при проектировании и экс-



плуатации гражданских объектов. Остается серьезным положение с преступностью. В настоящий момент особую значимость приобретают обеспечение безопасности организаций и граждан, борьба с преступностью, предотвращение и противодействие террористическим угрозам, эффективные действия в условиях чрезвычайных ситуаций. Именно с этим связан растущий интерес к современным техническим средствам и новейшим технологиям, комплексным подходам к решению проблем безопасности и предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Участники выставки “Безопасный город” продемонстрировали новейшие разработки и готовое оборудование, системы и средства обеспечения промышленной безопасности, позволяющие максимально сократить риски, предотвратить возникновение аварийных ситуаций, минимизировать возможное нанесение ущерба природной среде и обществу. Также были представлены средства и методы борьбы с чрезвычайными ситуациями, позволяющие обеспечить безопасность бизнеса и жизнедеятельности человека (пожарную, транспортную, промышленную, информационную и т.д.).



**В Набережных Челнах завершились  
Всероссийские соревнования  
на Кубок Центрального совета ВДПО  
среди юных пожарных и спасателей**

13 мая в Набережных Челнах (Республика Татарстан) завершились Всероссийские соревнования на Кубок Центрального совета Всероссийского добровольного пожарного общества (ВДПО) среди юных пожарных и спасателей по российской и европейской программам.

Целью соревнований было повышение культуры безопасности среди детей и подростков, а также спасательного, пожарно-технического мастерства и физической подготовки юных пожарных и спасателей.

В соревнованиях приняли участие 25 сборных команд из разных регионов России, в состав которых вошли юноши от 12 до 18 лет.

В первый день участники соревнований состязались на стометровой полосе с препятствиями из элементов пожарно-спасательного спорта. В средней группе в личном зачете на этом этапе победителем стал татарстанец Андрей Колин. Он же стал первым и в подъеме по штурмовой лестнице.

В командном зачете в состязаниях по преодолению полосы препятствий и эстафетном беге 9×50 м и по итогам первого дня соревнований первенствовали представители Пермского края, второе место заняли юные пожарные и спасатели из Татарстана, бронза у команды Московской области.

По итогам Всероссийских соревнований на Кубок Центрального совета ВДПО из сильнейших юниоров будет сформирована сборная команда, которая станет представлять нашу страну на Между-



народной Олимпиаде среди юных пожарных и спасателей, которая пройдет в июле 2007 г. в г. Ревинж (Швеция).

[/mchs.gov.ru/](http://mchs.gov.ru/)

**Саперы МЧС России очистили от мин и снарядов сельскохозяйственные угодья Чечни общей площадью 56,9 га**

В Чеченской Республике завершила работу по разминированию сельскохозяйственных угодий оперативная группа Центра по проведению спасательных операций особого риска "Лидер" и 179-го Спасательного центра МЧС России. За время работы — с 14 марта по 8 мая 2007 г. — 35 саперов очистили от снарядов, мин и гранат сельскохозяйственные угодья общей площадью 56,9 га. В результате этих мероприятий было обнаружено и уничтожено 411 различных взрывоопасных предметов, в том числе сто семьдесят два 152-мм и два 122-мм реактивных снаряда.

В ближайшие дни руководители оперативной группы МЧС России осуществляют передачу документов об очистке сельскохозяйственных угодий Чеченской Республики от взрывоопасных предметов представителям местных властей.

[/mchs.gov.ru/](http://mchs.gov.ru/)

**Большая группа сотрудников МЧС России удостоена государственных наград**

В канун Дня пожарной охраны Указом Президента Российской Федерации большая группа сотрудников МЧС России удостоена государственных наград за мужество и самоотверженность, проявленные в экстремальных условиях, и высокие личные показатели в служебной деятельности.

Орденом "За военные заслуги" награждены генерал-майор Евгений Секирин, подполковники Алексей Рыбаков, Андрей Божко и Анатолий Абрашкин.

Ордена Почета удостоены заместитель директора Департамента развития инфраструктуры МЧС России Татьяна Марченко и начальник Академии гражданской защиты генерал-полковник Павел Попов.

Медалями ордена "За заслуги перед Отечеством" I степени награжден генерал-майор Игорь Паньшин, II степени — генерал-майор Владимир Кудрявцев, полковники внутренней службы Анатолий Беликов, Петр Кемаев и Владимир Солнцев.

Медалями "За спасение погибавших" награждены полковник внутренней службы Владимир Демиденко, подполковник внутренней службы Сергей Веселов, младший лейтенант внутренней службы Максим Калужин, старшие прапорщики внутренней службы Олег Безматерных и Игорь Бояршинов,

старший сержант внутренней службы Алексей Рябичев, рядовой внутренней службы Арсений Зрячих и многие другие.

Этим же указом за заслуги в научной деятельности почетное звание "Заслуженный деятель науки Российской Федерации" присвоено начальнику Всероссийского центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, доктору географических наук Владиславу Болову и начальнику Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны генерал-майору внутренней службы, доктору технических наук, профессору Николаю Копылову.

Почетное звание "Заслуженный работник культуры Российской Федерации" присвоено ответственному секретарю редакции журнала "Гражданская защита" Ивану Алексееву.

[/mchs.gov.ru/](http://mchs.gov.ru/)

### Тамбовские мошенники чуть не угрошили липецких пожарных — продали им дырявые противогазы

В Тамбове 19 мая повязали криминальный дуэт, торговавший "левыми" противогазами — дырявыми, отслужившими свой срок. 320 штук такой "пленки" "коммерсанты" по сходной цене загнали Управлению ГО и ЧС г. Липецка.

Снятую с эксплуатации рухлянь, перекрасив, выдавали за современные образцы завода "Тамбовмаш", а приобретали ее на складах утилизации. Дело было поставлено на широкую ногу — аферисты открыли даже подпольный цех по превращению старых противогазов в новые. "С помощью сильного растворителя прежнюю маркировку на резине они стирали и наносили свою. Металлические бирки сбивали молотком", — рассказывает руководитель пресс-службы Тамбовского областного УФСБ Юрий Смольянинов.

Липчане подвоха не заметили. Заплатили 390 тысяч, получили товар и были рады. "Фильтры в противогазах не работали, клапаны пропускали воздух, — продолжает Ю. Смольянинов. — На пожаре такие средства защиты не спасут — задохнешься".

Чекисты нашли у умельцев еще полтысячи штук контрафакта. "О том, что противогазы "левые", покупатели узнали от нас, — смеется Юрий Смольянинов. — Потом звонят: мы тут посмотрели — да, действительно, подделка".

Максимальный срок за мошенничество в крупном размере — шесть лет колонии. Но столько тамбовские "торговцы" получат вряд ли, вполне могут отделаться штрафом. Никто же не успел пострадать...

[/vrn.kp.ru/](http://vrn.kp.ru/)

### В Краснодаре орудует банда поджигателей. Что может помочь? Углекислотный огнетушитель!

30 многоэтажек пострадали от пожаров в электрощитках. Краснодарцы в панике. По городу разгуливает маньяк (а может быть, их целая группа) и поджигает в подъездах многоэтажек электрические щитки — те самые, которые устанавливаются на лестничных площадках, возле квартир. За последний месяц негодяи подпалили их более 30 штук. Досталось всем округам, но больше других пострадал Прикубанский. Стены подъездов покрылись копотью, но это полбеды. Люди, проживающие в домах, до которых добирались поджигатели, по несколько часов, а то и суток оставались без света.

"Наш подъезд тоже пострадал, — пожаловалась нам Елена Ивановна, жительница дома по ул. Атарбекова, 25. — Спасибо пожарным — приехали быстро, за несколько часов все починили. На щитки поставили новые дверцы с замками. У меня знакомые живут на ул. Индустриальная. Так там щитки в двух домах подожгли почти одновременно. И вот что странно: почти во всех подъездах стоят металлические двери с кодовыми замками. Как будто хулиганы вызовы бросают — мол, смотрите, вот она, ваша хваленая безопасность".

Видимо, с безопасностью у нас действительно напряженка. Поджоги совершаются в основном в рабочие дни в обед, а по выходным и в праздники — вечерами, т.е. тогда, когда краснодарцев наверняка нет дома. Выгорают чаще всего щитки вторых-четвертых этажей.

"Скорее всего, это дело рук гражданина без определенного места жительства, — предположил начальник пресс-службы УВД Краснодара Илья Шакалов. — Судя по всему, это он попадался на глаза людям — одет был в черную мятую одежду. На вид злоумышленнику 25–30 лет, волосы темные, рост 175 см. Проверяем мы и подростков, состоящих на учете в милиции, и наркоманов, и алкоголиков. Мотив поджогов, скорее всего, — хулиганство. Дошло до того, что народ, перепуганный горьким опытом соседей, стал выставлять дежурных по своим домам. В УВД Западного и Прикубанского округов, а также в городском Управлении милиции создали специальные группы для розыска хулиганов. Похоже, это сработало".

Прокуратурой возбуждено уголовное дело по статье 167 УК РФ "Уничтожение чужого имущества".

[/kuban.kp.ru/](http://kuban.kp.ru/)



Д-р техн. наук,  
профессор, ОрелГТУ  
**Ю. Х. Поландов**



Аспирант ОрелГТУ  
**М. А. Барг**



Канд. техн. наук, ОрелГТУ  
**С. А. Власенко**

УДК 001.891.573:536.436

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ МЕТОДОМ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ

Приведены результаты численного моделирования методом крупных частиц горения газовоздушной смеси в не-замкнутом объеме цилиндрической формы. Адекватность использованной расчетной модели подтверждена полученным экспериментальными данными.

**В** газодинамических моделях, основанных на методе крупных частиц, состояние среды в каждой ячейке расчетной сетки описывается известным набором параметров: плотностью газа  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; вектором скорости, м/с; удельной полной энергией  $E$ , Дж/кг; давлением  $p$ , Па [1].

Основная идея метода крупных частиц состоит в расщеплении исходной системы дифференциальных уравнений, описывающих моделируемую среду, по происходящим в ней физическим процессам. Моделируемая среда заменяется системой из жидких (перемещающихся) частиц, совпадающих в данный момент времени с ячейкой эйлеровой (не-подвижной) сетки. Весь процесс вычислений состоит из многократного повторения шагов по времени. Расчет каждого временного шага (вычислительного цикла) в свою очередь разбивается на три этапа [2]:

1. “Эйлеров” этап, когда пренебрегают всеми эффектами, связанными с перемещением жидкости (потока массы через границы ячеек нет); здесь на фиксированной эйлеровой сетке определяются промежуточные значения искомых параметров потока.

2. “Лагранжев” этап, где вычисляется плотность потока массы  $\Delta M$  при движении жидкости через границы эйлеровых ячеек.

3. Заключительный этап — определяются окончательные значения параметров потока на основе законов сохранения массы, импульса и энергии для каждой ячейки и всей системы в целом.

Метод крупных частиц является одним из современных методов численных экспериментов в газодинамике, позволяющим исследовать принципиально новые физические явления без априорной информации о структуре решения [3]. В связи с этим представляется актуальным расширить область его применения на задачи, связанные с моделированием процессов горения и взрыва в газовоздушных смесях.

Используя метод расщепления по физическим процессам, характерный для метода крупных частиц, в процессе горения газовоздушной смеси можно выделить три основных компоненты:

- газодинамические течения смеси газов (процессы пространственного перемещения);
- тепломассообмен смеси с окружающей средой;
- выделение внутренней энергии при сгорании топлива.

Базовые схемы метода крупных частиц позволяют моделировать первые два из указанных процессов. В настоящей статье предлагается подход к моделированию третьего процесса, связанного непосредственно с горением топлива. С этой целью авторами вводится дополнительный параметр состояния — массовая доля продуктов сгорания  $f$ . Значение указанного параметра для каждой ячейки расчетной области может быть определено из выражения:

$$f = m_e / m, \quad (1)$$

где  $m$  — общая масса смеси в ячейке, кг;

$m_e$  — масса продуктов сгорания в ячейке, кг.

При этом расчетные ячейки можно разделить на три группы:

- ячейки с исходной смесью, для которых выполняется условие  $f < \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  — параметр точности расчетов;
- “сгоревшие” ячейки,  $f > 1 - \varepsilon$ ;
- “горящие” ячейки.

Моделирование процесса горения происходит в три шага. На первом шаге рассматривается горение газа в ячейках, т.е. изменение значения для каждой ячейки согласно следующему равенству:

$$f_u = f + \Delta f, \quad (2)$$

где  $f_u$  — доля продуктов сгорания в ячейке после первого этапа;

$\Delta f$  — доля газа, сгоревшего за время  $\Delta t$ .

Второй шаг заключается в распространении горения на соседние ячейки. Первый и второй шаги предполагают неподвижность среды, что характерно для эйлерова этапа вычислительного цикла метода крупных частиц [1–3].

Третий шаг заключается в учете переноса массы сгоревшего газа через границы ячеек (заключительный этап метода крупных частиц). Перенос моделируется аналогично переносу остальных параметров (массы смеси, энергии, импульса) по общей формуле:

$$f_{i,j,k}^{n+1} = \frac{1}{\rho_{i,j,k}^{n+1}} \left[ f_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n + \frac{\sum \Delta M_{ep} f_{ep}}{\Delta x \Delta y \Delta z} \right] \quad (3)$$

или в развернутом виде:

$$\begin{aligned} f_{i,j,k}^{n+1} = & \frac{f_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n}{\rho_{i,j,k}^{n+1}} + (\Delta M_{i-1/2,j,k} f_{i-1/2,j,k} - \\ & - \Delta M_{i+1/2,j,k} f_{i+1/2,j,k} + \Delta M_{i,j-1/2,k} f_{i,j-1/2,k} - \\ & - \Delta M_{i,j+1/2,k} f_{i,j+1/2,k} + \Delta M_{i,j-1/2} f_{i,j,k-1/2} - \\ & - \Delta M_{i,j+1/2} f_{i,j,k+1/2}) \frac{1}{\Delta x \Delta y \Delta z \rho_{i,j,k}^{n+1}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  — размер ребра ячейки вдоль соответствующей оси;

$i, j, z$  — индексы текущей ячейки вдоль осей  $OX, OY, OZ$  соответственно; дробные индексы определяют переносимые величины, относящиеся к соответствующим границам между ячейками;  $n, n+1$  — индексы, указывающие значения соответствующих величин, относящиеся к текущему ( $n$ ) и следующему ( $n+1$ ) временному шагу.

При использовании общих формул (3) и (4) остается открытым вопрос об определении значений параметра  $f$ , переносимых через границы яче-

ек. В предлагаемой модели среда понимается как имеющая две несмешиваемые фазы — несгоревшую смесь и продукты сгорания, разделенные поверхностью фронта горения. При этом для определения значений параметра  $f$ , переносимых через границу ячейки, достаточно знать характер пересечения границы поверхностью фронта.

Рассмотрим три характерных случая (для наглядности воспользуемся двухмерной постановкой задачи).

1. Поток массы направлен из “горящей” ячейки в “сгоревшую”:

$$\varepsilon < f_{i,j} < 1 - \varepsilon, \quad f_{i-1,j} > 1 - \varepsilon, \quad \Delta M_{i-1/2,j} < 0. \quad (5)$$

В этом случае поверхность фронта не пересекает рассматриваемую границу ячейки и через границу переносятся только продукты сгорания (рис. 1). Это означает, что переносимое значение параметра  $f$  равно единице:

$$f_{i-1/2,j} = 1. \quad (6)$$

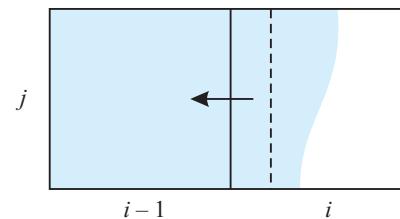


Рис. 1. Фронт горения не пересекает границу ячейки

2. Поток массы направлен из “горящей” ячейки в “негоревшую”:

$$\varepsilon < f_{i,j} < 1 - \varepsilon, \quad f_{i+1,j} < \varepsilon, \quad \Delta M_{i+1/2,j} > 0. \quad (7)$$

В этом случае поверхность фронта также не пересекает рассматриваемую границу ячейки и через границу переносится только негоревшая (исходная) смесь (рис. 2). Переносимое значение параметра  $f$  равно нулю:

$$f_{i+1/2,j} = 0. \quad (8)$$

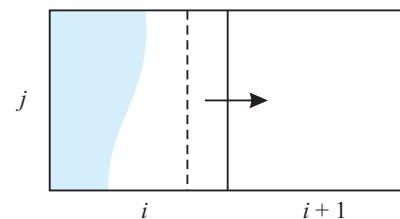


Рис. 2. Фронт горения не пересекает границу ячейки

3. Поток массы между двумя “горящими” ячейками:

$$\varepsilon < f_{i,j} < 1 - \varepsilon, \quad \varepsilon < f_{i+1,j} < 1 - \varepsilon, \quad \Delta M_{i+1/2,j} > 0. \quad (9)$$

В этом случае поверхность фронта пересекает границу ячейки. Через рассматриваемую границу переносятся как исходная смесь, так и продукты сгорания (рис. 3). Переносимое значение параметра  $f$  равно соотношению площади границы ячейки, отсекаемой фронтом горения, к общей площади границы. Авторами предлагается определять это отношение как среднее арифметическое значений параметра  $f$  для двух соседних ячеек (10). Такой подход обосновывается геометрической трактовкой степени сгорания как отношения площади (объема) ячейки, занимаемой продуктами сгорания, к общей площади (объему) ячейки:

$$f_{i+1/2, j} = \frac{f_{i, j} + f_{i+1, j}}{2}. \quad (10)$$

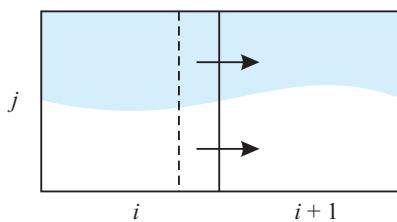


Рис. 3. Фронт горения пересекает границу ячейки

Остальные случаи переноса значения параметра  $f$  сводятся к перечисленным выше. На основе выражений (5) – (10) можно записать общие формулы для определения переносимых значений параметра  $f$ :

$$f_{i+1/2, j, k} = \begin{cases} 1, & (f_{i, j, k} > 1 - \varepsilon) \vee (f_{i+1, j, k} > 1 - \varepsilon); \\ 0, & (f_{i, j, k} < \varepsilon) \vee (f_{i+1, j, k} < \varepsilon); \\ \frac{f_{i, j, k} + f_{i+1, j, k}}{2}; \end{cases} \quad (11)$$

$$f_{i-1/2, j, k} = \begin{cases} 1, & (f_{i, j, k} > 1 - \varepsilon) \vee (f_{i-1, j, k} > 1 - \varepsilon); \\ 0, & (f_{i, j, k} < \varepsilon) \vee (f_{i-1, j, k} < \varepsilon); \\ \frac{f_{i, j, k} + f_{i-1, j, k}}{2}. \end{cases} \quad (12)$$

Выражения (11) – (12) позволяют также определить условия распространения горения на соседние ячейки (второй шаг моделирования горения) [2]. При условии “воспламенения” “негоревшей” ячейки  $(i, j, k)$  от ячейки  $(i+1, j, k)$  записывается в виде:

$$f_{i+1/2, j, k} > \varepsilon. \quad (13)$$

Для характеристики адекватности описанной модели горения авторами был осуществлен сравни-

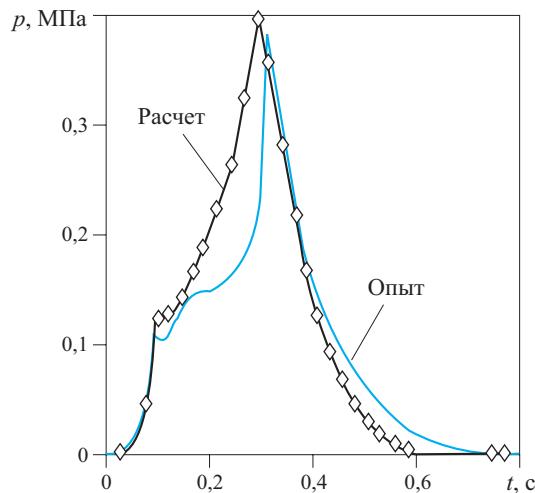


Рис. 4. Динамика давления взрыва газовоздушной смеси

тельный анализ результатов численного и натурального экспериментов по исследованию взрывов газовоздушной смеси в объеме цилиндрической формы как для замкнутого объема, так и при наличии взрывного окна (незамкнутый объем).

Натурные эксперименты проводились на модели цилиндрической однопроходной топки (длина рабочей полости — 1500 мм, диаметр — 200 мм). В зависимости от условий проведения эксперимента модель приводилась в герметичное состояние либо устанавливался взрывной клапан с легкой мембраной. Установка заполнялась бутанопропано-воздушной смесью, близкой к стехиометрической, которая затем воспламенялась электрической искрой. При помощи информационно-измерительной системы фиксировалась динамика изменения давления в рабочей полости при протекании взрыва.

Для проведения вычислительных экспериментов на основе изложенной в настоящей статье модели авторами был разработан комплекс программ для ЭВМ, позволяющий моделировать трехмерные расчетные области сложной формы. Использовалась расчетная область, соответствующая натурной установке. На границах рабочей полости задавались условия непротекания. Взрывной клапан моделировался путем экстраполяции параметров окружающей среды. Для расчетов использовалась регулярная ортогональная сетка с шагом 20 мм.

На рис. 4 представлены графики давления взрыва, полученные опытным и расчетным путем для одной из постановок эксперимента. Сравнительный анализ результатов натурных и численных экспериментов показал хорошую согласованность, причем теоретическая кривая объективно отражает тенденцию изменения реальных параметров взрыва. Это свидетельствует о том, что разработанная

модель горения вполне адекватна реальным процессам.

Таким образом, представленный способ моделирования позволяет с достаточной точностью не

только описать физический процесс воспламенения газовоздушной смеси, но и визуализировать динамику всех параметров, определяющих ход процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белоцерковский О. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. Вычислительный эксперимент [Текст] / О. М. Белоцерковский, Ю. М. Давыдов. — М.: Наука, Физматгиз, 1982.
2. Давыдов Ю. М. Аэродинамика, гидроупругость и устойчивость полета парашютных систем. Авиатика мягких летательных аппаратов / Изд-е 3-е, дополн. и перераб. — М.: НАПН РФ, НИИ парашютостроения, 2005. — 364 с.
3. Давыдов Ю. М., Егоров М. Ю. Численное моделирование нестационарных переходных процессов в активных и реактивных двигателях [Текст] / Под ред. Ю. М. Давыдова. — М.: Национальная Академия прикладных наук России, 1999. — 272 с.

Поступила в редакцию 27.04.07.



## Интерактивное учебное пособие “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ”

Представляет курс, построенный на основе методических материалов, разработанных ведущими специалистами кафедры пожарной безопасности Московского государственного строительного университета, и включает 16 уроков (лекции и тестовые вопросы), объединенные в электронный учебник.

Учебно-методическое пособие содержит сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов.

Поурочная структура курса позволяет изучать материал в удобное время и в удобном темпе.

Данное интерактивное учебное пособие рекомендуется для проведения дистанционного обучения.

Курс рассчитан на самостоятельное изучение и консультационной помощью не поддерживается.

Освоив предлагаемый материал, вы можете сдать квалификационный экзамен в виде контрольного тестирования по всем пройденным темам.

Успешно сдавшим квалификационный экзамен предоставляется скидка 30% от базовой стоимости курса и выдается удостоверение государственного образца, подтверждающее прохождение слушателем курса повышения квалификации руководителей и специалистов в объеме 72-часовой программы.

Удостоверение высылается на почтовый адрес слушателя или вручается лично в УВЦ ИИБС МГСУ по адресу: Москва, ул. Смирновская, дом 1 А.

**По вопросам приобретения компакт-диска обращаться по адресу:**

**109052, Москва, ул. Смирновская, дом 1 А, каб. 400**

**Тел./факс: (095) 918-03-11, 918-03-60**

**E-mail: vasillkova@gmail.com**



Канд. техн. наук, начальник сектора ФГУП  
“Всероссийский научно-исследовательский  
институт авиационных материалов (ВИАМ)”  
**С. Л. Барботко**

УДК 614.841.345:629.7.042.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ПО ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ

В различных отраслях промышленности нормируются характеристики пожарной опасности используемых материалов и типовых элементов конструкций из них. Показатели пожарной опасности определяются при помощи стандартных методов испытаний. Однако большое внимание уделяется и расчетным методам, позволяющим выявить влияние различных факторов на нормируемые показатели. В данной работе проведено сопоставление скоростей выделения тепла материалами в процессе испытания в проточном калориметре типа OSU с расчетными значениями, полученными на основе математической модели горения под воздействием внешнего теплового потока многослойного материала.

### Введение

Одной из важнейших характеристик пожарной опасности полимерных материалов и элементов конструкций из них является тепловыделение.

Теплота сгорания материала может быть найдена при испытаниях в калориметрической бомбе, тепловые эффекты термоокислительной деструкции определяются при помощи термогравиметрического анализа, на основании разности теплот сгорания материала и его коксового остатка может быть рассчитана теплота горения. Однако перечисленные методы не позволяют определить кинетику выделения тепла для материала заданной толщины при воздействии конкретного теплового потока.

В настоящее время разработаны и широко используются в мировой практике калориметры, позволяющие измерять скорости выделения тепла при горении под воздействием теплового потока. Наиболее распространенными из таких приборов являются проточный калориметр OSU (разработан в Государственном университете штата Огайо США, ASTM E906) и конусный калориметр (cone calorimeter, разработан NIST США, ASTM E1354). Испытания на этих приборах введены в перечень обязательных при оценке материалов, используемых для различных отраслей промышленности (авиационной, железнодорожной, водного транспорта, строительства, производства мебели и др.). Кроме того, испытания данного типа применяются в научных исследованиях при оценке влияния состава и строения антипиренов или модифицирующих добавок на характеристики тепловыделения полимерных материалов и типовых конструкций из них.

Материалы и элементы конструкции, используемые в отделке интерьера пассажирских кабин самолетов, должны удовлетворять требованиям пожаробезопасности, включающим в себя горючесть, дымообразующую способность и тепловыделение. Оценка тепловыделения проводится при помощи модифицированного проточного калориметра OSU при постоянном падающем тепловом потоке на образец, равном  $35 \text{ кВт}/\text{м}^2$ . Данный прибор работает по термопарному методу (расчет количества выделившегося тепла производится на основе измерения температуры отходящих дымовых газов) и хотя имеет тепловую инерцию, но в отличие от конусного калориметра (работающего на основе измерения концентраций  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) позволяет регистрировать отрицательное тепловыделение, связанное с прогревом и эндотермической деструкцией компонентов реальных огнезащищенных полимеров, и адекватно отображает изменение скорости тепловыделения материалов при использовании антипиренов любого типа.

### Использованное оборудование и описание методики проведения эксперимента по измерению скорости тепловыделения

Испытания образцов материалов проводили на модифицированном проточном калориметре типа OSU марки HRR-3, изготовленном “Atlas electric devices” (США) и эксплуатируемом во ФГУП ВИАМ с 1998 г. Подробное описание аппаратуры и методики проведения испытаний дано в “Авиационных правилах” (АП-25) [1]. В соответствии с отечественными авиационными нормами испытания

образцов осуществляются в течение 5 мин при вертикальном положении образца. В этом случае используются квадратные образцы размером 150×150 мм и толщиной до 40 мм. Перед испытанием образец заворачивают в алюминиевую фольгу и помещают в держатель образца так, что остается открытой только экспонируемая поверхность размером 140×140 мм. Перед испытанием образец выдерживается в предварительной камере с температурой ~50°C в течение примерно 1,5 мин, после чего перемещается в экспозиционную камеру. Во время испытания на открытую поверхность образца воздействует постоянный во времени и равномерный по поверхности тепловой поток мощностью 35 кВт/м<sup>2</sup>. Воспламенение образца инициируется пламенем пилотной горелки (расход метана менее 0,1 л/мин). Образующиеся газообразные продукты деструкции уносятся движущимся снизу вверх потоком воздуха (10 л/мин) и дожигаются в пламени многорожковой горелки, расположенной над образцом (расход метана около 1 л/мин). Образующиеся дымовые газы смешиваются с теплоизолирующим потоком воздуха (30 л/мин) и поступают в дымовую трубу, в которой и происходит измерение их температуры многоспайной дифференциальной термопарой. Сигнал от термодатчика через согласующее устройство поступает в компьютер, где регистрируется с интервалом в 1 с. На основании изменения ЭДС термодатчика и калибровочного коэффициента прибора (рассчитываемого по теплоте сгорания образцового газа — метана — с чистотой не менее 99,9%) определяется скорость тепловыделения в каждый конкретный период времени (кВт/м<sup>2</sup>), а также общее количество выделившегося тепла с начала эксперимента (кВт·мин/м<sup>2</sup>).

### Математическая модель горения образца

Так как реальный испытываемый образец может быть скомбинирован из составляющих, различающихся по составу и теплофизическим свойствам, образовывать в процессе термодеструкции плотный коксовый слой, то было решено при расчетах использовать модель многослойного тела. Данная модель предполагает, что материал состоит из конечного числа тонких элементарных слоев, каждый из которых имеет свою определенную толщину, массу, теплофизические и химические свойства. Каждое из свойств может меняться во времени в зависимости от внешних условий по своему заранее заданному закону.

На основании данных за предыдущий момент времени и для предыдущего элементарного слоя производится расчет всех характеристик для каждого элементарного слоя в каждый момент времени, причем временной интервал между расчетами

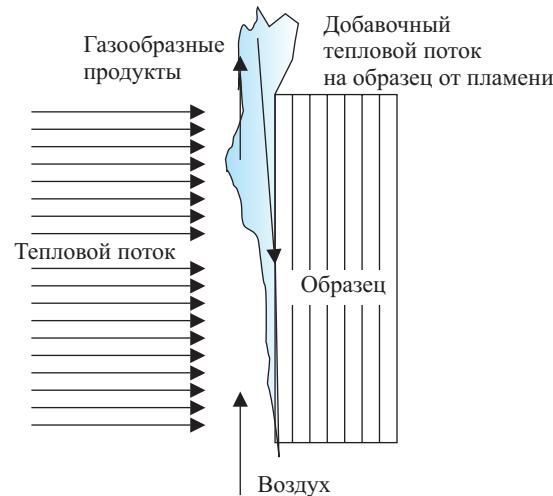


Рис. 1. Схема испытания образца

значений для каждого элементарного слоя должен быть оптимально минимальным.

Падающий тепловой поток равномерен по экспонируемой поверхности и воздействует только на лицевую сторону, теплопередача через боковые стороны пренебрежимо мала, поэтому можно считать, что образец представляет собой равномерную бесконечную пластину ограниченной толщины. Во время испытания происходит изменение температурного поля образца, его термодеструкция, масоперенос и газофазные реакции окисления. Схема расположения образца и условий горения представлена на рис. 1.

Процесс нагрева каждого элементарного слоя в общем случае описывается уравнением Фурье. Так как образец представляет собой равномерную бесконечную пластину и тепловой поток равномерен, то изменение температурного поля по двум координатам (ширине и длине) отсутствует. Тепло передается от слоя к слою теплопроводностью, т.е. определяется только критерием Фурье (в данной работе не рассматриваются материалы с воздушными прослойками).

Под действием теплового потока в каждом элементарном слое происходят следующие процессы:

- нагрев элементарного слоя и передача тепла следующему слою;
- при достижении температуры термического разложения  $T_{\text{нр}}$  начинает происходить термодеструкция полимера с образованием газообразных продуктов;
- образовавшиеся газообразные продукты выходят в предыдущий слой;
- газообразные продукты сгорают вне материала.

В данной математической модели использованы следующие допущения и ограничения:

- 1) количество элементарных слоев в процессе эксперимента не изменяется;

- 2) температура в элементарном слое по толщине и поверхности одинакова;
- 3) термодеструкция в элементарном слое происходит в одну стадию;
- 4) отсутствует термическое разложение газообразных продуктов, проходящих через предыдущие слои;
- 5) теплота сгорания газообразных продуктов термодеструкции равна низшей теплоте сгорания полимера;
- 6) коксовый остаток считается инертным, не прозрачным и не подвергается дальнейшему выгоранию;
- 7) теплообмена образца с окружающей средой через боковые поверхности и тыльную сторону нет;
- 8) падающий тепловой поток на образец передается только излучением;
- 9) коэффициент черноты полимерных материалов, независимо от их цвета в видимом спектре, близок к единице (0,95) и не меняется в процессе эксперимента;
- 10) прозрачность элементарного слоя исходного материала и его коксового остатка к тепловому излучению, независимо от прозрачности в видимом спектре, принимается равной нулю.

Задачи прогрева, термодеструкции и массопереноса требуют решения системы дифференциальных уравнений. Это может быть осуществлено численными методами, например методом итераций. Однако с учетом выбранных краевых условий задачи, сделанных допущений и упрощений, выбора малой толщины элементарного слоя и малого промежутка времени, через который производится расчет текущих значений, численное решение системы дифференциальных уравнений можно попытаться получить за один проход, т.е. многократным решением системы линейных по аргументу уравнений.

Учитывая условия испытания (геометрическое расположение источника теплового потока, образца, пламени) сначала в первом приближении можно считать, что вклад теплового потока от пламени не значителен, а следовательно, падающий тепловой поток на образец является постоянным, т.е. реализуются условия, близкие к линейному пиролизу, рассмотренному в работах А. С. Штейнберга [2]. В соответствии с вышеизложенным количество входящего в элементарный слой тепла описывается по формулам:

$$q_{ex} = q_{nad} - q_{uzl}; \quad (1a)$$

$$q_{ex} = q_{nad}/(N+1); \quad (1b)$$

$$q_{ex,n} = q_{vых,n-1}, \quad (1b)$$

где  $q_{nad}$ ,  $q_{uzl}$ ,  $q_{ex}$  и  $q_{vых}$  — падающее на образец, излученное лицевым слоем, входящее в  $n$ -й

слой и выходящее из  $n$ -го слоя количество тепла за элементарный промежуток времени, Дж/м<sup>2</sup>.

Количество излученного тепла может быть рассчитано по закону Стефана–Больцмана и определяется температурой 1-го слоя и коэффициентом черноты.

Полагая, что тепло, поступающее в образец, передается только излучением, входящий тепловой поток в 1-й слой рассчитывается по формуле (1a). После выгорания 1-го и последующего слоев в случае испытания стеклопластиков в слое остается стеклоткань. Слой стеклоткани не контактирует с последующими слоями, потому что поток газообразных продуктов направлен против градиента температуры. Таким образом, слой стеклоткани является тепловым экраном, и входящий в нижележащий слой лучистый тепловой поток может быть рассчитан по уравнению (1b), где  $N$  — число выгоревших слоев стеклоткани. В остальных случаях входящий в слой тепловой поток может быть описан по уравнению (1b).

Поступающее в слой тепло расходуется на дальнейший нагрев слоя, пиролиз полимерной составляющей (при достижении температуры начала пиролиза) и передачу тепла последующим слоям:

$$q_{ex} = q_{nad} + q_{vых} + q_{tip}. \quad (2)$$

Количество выходящего из слоя тепла, Дж/м<sup>2</sup>, определяется следующим образом:

$$q_{vых} \sim (T_n - T_{n+1}) m_n C_p Fо_{n+1}; \quad (3a)$$

$$q_{vых} = 0, \quad (3b)$$

где  $T_n - T_{n+1}$  — разность температур между двумя последующими слоями, К;

$m_n$ ,  $C_p$  — масса (поверхностная плотность), кг/м<sup>2</sup>, и теплоемкость элементарного слоя, отдающего тепло, Дж/(Г·К), соответственно;

$Fо_n$  и  $Fо_{n+1}$  — критерии Фурье для двух смежных слоев.

Для последнего элементарного слоя принято, что теплоотдача отсутствует, следовательно, количество выходящего тепла равно нулю, т.е. используется уравнение (3b).

Критерий Фурье определяется по формуле:

$$Fо = \lambda\tau/(C_p m_{n,k-1}(\delta/2)), \quad (4)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность, Вт/(м·К);

$\tau$  — временной интервал, с;

$\delta/2$  — полутолщина элементарного слоя, м.

Так как критерий Фурье может меняться от нуля до бесконечности, целесообразно применить нормирование и использовать в расчетах приведенный критерий. Оптимальной для нормирования представляется функция арктангенса, позволяющая преобразовать аргумент, меняющийся в интервале

от 0 до бесконечности, в значения функции, изменяющейся в ограниченном заданном интервале, например от 0 до 1.

Приведенный критерий Фурье описывается уравнением:

$$Fo_{np} = 2/\pi \cdot \arctg(Fo). \quad (5)$$

При полном выгорании элементарного слоя его масса и толщина равняются нулю, следовательно  $Fo_{np} = 1$ . Тогда уравнение (3а) может быть записано:

$$q_{вых} \sim (T_n - T_{n+1}) m_n C_p Fо_{np,n} Fо_{np,n+1}. \quad (3в)$$

Количество тепла, пошедшего на пиролиз полимерной составляющей элементарного слоя, определяется по следующим уравнениям.

При температуре слоя меньше температуры начала термодеструкции все остающееся в элементарном слое тепло расходуется на его дальнейший нагрев, поэтому работает уравнение:

$$q_{nup} = 0. \quad (6а)$$

При температуре, равной или выше температуры начала термодеструкции, часть тепла, остающегося в элементарном слое, идет на его термодеструкцию, а часть — на дальнейший нагрев, т.е. происходит перегрев полимерной составляющей над температурой начала разложения. Предположено, что доля тепла, идущего на перегрев, меняется в зависимости от разности температур слоя и начала разложения, т.е. от приведенной температуры разложения:

$$\Theta_{разл} = \frac{T_{\max} - T_n}{T_{\max} - T_{n,разл}},$$

где  $T_{\max}$ ,  $T_n$  и  $T_{n,разл}$  — максимально достигаемая температура слоя, текущая температура и температура начала разложения соответственно, К.

Максимально достижимая температура поверхности при воздействии лучистого теплового потока заданной интенсивности может быть рассчитана по закону Стефана–Больцмана:

$$q = C(T/100)^4,$$

где  $q$  — падающий тепловой поток, Вт;

$C$  — коэффициент излучения черного тела,  $C = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

$T$  — температура поверхности, К.

Количество тепла, Дж/м<sup>2</sup>, идущего на пиролиз полимера в элементарном слое, может быть записано так:

$$q_{nup} = (q_{ex} - q_{вых} - (T_{n,разл} - T_n) m_n C_p \text{КП} \Theta_{разл}), \quad (6б)$$

где КП — коэффициент доли тепла, идущего на перегрев материала при пиролизе (допустимый интервал изменения — от 0 до 1).

Если количество оставшейся полимерной составляющей в слое мало, то поступившее в элементарный слой тепло тратится на пиролиз всего оставшегося в слое полимера за вычетом его коксового остатка:

$$q_{nup} = L (m_{\text{полим. ост.}} - m_{\text{полим. исх}} \text{КЧ}), \quad (6в)$$

где КЧ — коксование число полимера данного элементарного слоя (изменяется от 0 до 1).

Тогда количество тепла, пошедшее на дальнейший нагрев слоя, может быть определено из уравнения (2). При этом новая средняя температура элементарного слоя составит:

$$T_{n,k} = T_{n,k-1} + q_{наср}/m_n C_p, \quad (7)$$

где  $T_{n,k}$  и  $T_{n,k-1}$  — предыдущая и последующая температура  $n$ -го элементарного слоя соответственно, К.

Масса оставшегося в элементарном слое полимера, г/м<sup>2</sup>, определяется как

$$m_{\text{полим. } k} = m_{\text{полим. } k-1} - q_{nup,k-1}/L, \quad (8)$$

где  $L$  — теплота пиролиза полимера, Дж/г.

Масса газообразных продуктов, г/м<sup>2</sup>, покидающих элементарный слой, может быть определена как сумма газообразных продуктов, образовавшихся в данном слое и пришедших из нижележащего слоя:

$$m_{газ.пр. } n, k = q_{nup}/L + m_{газ.пр. } n+1, k. \quad (9)$$

По количеству образовавшихся газообразных продуктов и их теплоте сгорания может быть рассчитана скорость выделения тепла, Вт/м<sup>2</sup>, в данный конкретный момент времени:

$$HRR = m_{1,k} \Delta H_2 \text{КПС}/\tau, \quad (10)$$

где  $\Delta H_2$  — низшая теплота сгорания газообразных продуктов, Дж/г;

КПС — коэффициент полноты сгорания газообразных продуктов (меняется от 0 до 1).

Таким образом, для получения ответа (искомой скорости выделения тепла от горения полимера) необходимо многократное решение систем линейных уравнений, описывающих процессы, протекающие в каждом элементарном слое и в каждый последующий интервал времени, что является вполне реальной задачей в случае использования современной вычислительной техники. Для этого не обязательно написание специальной программы с использованием языков программирования, а возможно применение пакета стандартных прикладных программ — электронных таблиц (Calc из OpenOffice, Excel из Microsoft Office или других аналогичных).

## Сопоставление и обсуждение полученных экспериментальных и расчетных результатов

При использовании математической модели многослойного тела важным вопросом является выбор количества элементарных слоев. При изучении реального многослойного материала каждый его слой должен быть описан одним или несколькими элементарными математическими слоями. Наиболее широко распространенным слоистым материалом является стеклопластик, причем толщина одного слоя составляет 0,1–0,2 мм. При математическом описании моделей горения используется понятие термически тонкого и термически толстого материала [3]. Каждый элементарный слой в предложенной математической модели должен быть термически тонким. Толщина термически тонкого материала зависит от его теплофизических свойств, но для большинства полимеров составляет те же 0,1–0,2 мм. В связи с вышесказанным было принято решение первоначально выбирать толщину элементарного слоя в указанном диапазоне, а потом произ-

водить расчеты с большим или меньшим количеством элементарных слоев.

При использовании электронных таблиц каждый элементарный слой описывается рядом свойств (массой, толщиной, теплоемкостью, теплопроводностью, температурой и др.), меняющихся во времени.

В данном случае описание свойств элементарных слоев производили по строкам. Сначала в верхней части таблицы идет описание констант, далее по строкам дается характеристика первого элементарного слоя, затем второго и т.д. (рис. 2). Описание каждого слоя может занимать несколько десятков строк. Учитывая допустимое количество строк на листе электронной таблицы, возможно описание большого количества слоев.

В выбранной реализации расчетов по столбцам таблицы идет изменение времени, т.е. в каждом последующем столбце производится расчет в каждый следующий момент времени с заданным интервалом. В представленных ниже расчетах был выбран единый шаг времени — 2 с, что объясняется следующими факторами:

Рис. 2. Внешний вид окна электронной таблицы при проведении расчетов

- 1) временной шаг достаточно частый, чтобы обеспечить сравнительно небольшой перегрев элементарного слоя за выбранный интервал времени;
- 2) все расчеты по каждому образцу помещаются на единственном листе таблицы, что обеспечивает простоту проведения расчетов и построения графиков (рис. 3).

Ввиду отсутствия в распоряжении автора надежных данных об изменении теплофизических свойств материалов (теплоемкости и теплопроводности) в зависимости от температуры при выполненных расчетах эти характеристики были приняты постоянными. Впоследствии была произведена оценка влияния изменения указанных свойств в возможных пределах на расчетные показатели.

Сначала были сопоставлены полученные расчетные и экспериментальные данные для широко используемых модельных материалов — целлюлозы и полиметилметакрилата (ПММА), существенно различающихся по своим теплофизическим и химическим свойствам, но выгорающих без образования коксового остатка.

### Целлюлоза

Были проведены испытания листа целлюлозы со следующими характеристиками: толщина образца — 0,8 мм, масса — 780 г/м<sup>2</sup>. Для удаления адсорбированной влаги образцы перед испытанием выдерживались в термостате при температуре 110°C в течение 2 ч. Для расчета прогрева, термодеструкции и скорости выделения тепла при горении цел-

Моделирование процесса тепловыделения при горении материала			стеклопластик КТМС-2														
начальная толщина образца			1 мм														
толщина слоя			0,0833 мм														
теплоемкость пластика начальная, сп			1,26 Дж/(г·К)														
начальная температура образца			50 °C														
температура начала термодеструкции			400 °C														
температура начала термодеструкции			2070 Дж/г														
теплопроводность начальная			0,2 Вт/(м·К)														
масса 1 слоя стеклоткани			80,5 г/м <sup>2</sup>														
шаг времени			2 с														
теплота горения			29,7 кДж/г														
масса 1 слоя полимера			53,5 г/м <sup>2</sup>														
коэффициент прохода газов, КПГ			0,1														
начальное содержание связующего			40 %														
коэффициент коррекции расчета HRR			0,1														
коэффициент излучения черного тела			5,7 Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )														
коэффициент черноты поверхности			0,95														
падающий тепловой поток			35 кВт/м <sup>2</sup>														
коксовое число, КЧ			0,3														
коэффициент полноты горения			0,8														
расчет начальной массы 1 слоя			134 г/м <sup>2</sup>														
Коэффициент пиролиза, КП			0,50														
пределная температура			616,11 °C														
критерий Фурье начальный $F_0 = \lambda \cdot t / (c_p \cdot m \cdot \delta/2) =$			56,859														
Fo нач.приведенный = 2/π·arctg(Fo)			0,9893														
$F_0^2$ приведенный			0,9787														
коэффициент передачи тепла			0,65														
коэффициент добавочного тепла от пламени, КДТ			0,02														
№ слоя	Шаг		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	Время, с		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24		
Реальное HRR, кВт/м <sup>2</sup>			-8	-5	-3	-2	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	0	1		
Расчетное HRR, кВт/м <sup>2</sup>			0	0	0	0	0,8255	5,7926	14,113	23,049	32,157	34,527	35,148	36,794	38,982		
Расч.скорр. HRR, кВт/м <sup>2</sup>			0	0,1196	0,2504	0,3564	0,5562	1,2518	2,7787	5,1983	8,528	12,094	15,721	19,512	23,521		
Сумм.расч. HR, кВт·мин/м <sup>2</sup>			0	0	0	0	0,0275	0,2206	0,691	1,4593	2,5312	3,6821	4,8537	6,0802	7,3796		
q изл., Дж/м <sup>2</sup>			0	0	2150,7	8478,3	13936	21283	22093	22776	22874	23029	31768	36371	38580		
q вх.общее, Дж/м <sup>2</sup>			0	66500	64349	58022	52564	45279	44848	44797	45378	45915	36381	36406	36472		
HRR скорр.2			0	0,012	0,0358	0,0679	0,1167	0,2302	0,4851	0,9564	1,7135	2,7516	4,0485	5,5949	7,3875		
масса, г/м <sup>2</sup>			1611	1611	1611	1610,9	1610,4	1609,3	1607,3	1604,6	1601,7	1598,7	1595,6	1592,4			
1	расстояние от начала, мм		0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833		
$\lambda$ , Дж/(с·м·К)			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
$\delta$ , мм			0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833		
ср, Дж/(г·К)			1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26		
q вх, Дж/м <sup>2</sup>			0	66500	64349	58022	52564	45279	44848	44797	45378	45915	36381	36406	36472		
критерий Fo приведенный			0,9837	0,9837	0,9837	0,9837	0,9837	0,9837	0,9841	0,9847	0,9853	0,9859	0,986	0,986	0,986		
коэффициент Котр			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		
T слоя гипотет., °C			50	312,58	399,82	502,55	545,77	581,25	589,25	600,47	611,02	622,95	636,57	661,37	672,71		
T слоя1, °C			50	145,73	273,46	338,22	401,85	407,85	412,79	413,49	414,59	469,67	494,35	505,4	512,67		
t слоя, г/м <sup>2</sup>			201	201	201	201	200,31	196,21	189,43	182,32	174,89	173	173	173			
t полимера			40	40	40	40	39,305	35,207	28,431	21,324	13,895	12	12	12			
q пир			0	0	0	0	1438,5	8483,8	14025	14711	15379	3922,4	0	0	0		
t газ.пр.			0	0	0	0	0,0695	0,4876	1,1879	1,9401	2,7068	2,9063	2,9586	3,0972	3,2814		
q вых			0	42254	32003	41620	35010	35282	29601	29918	29746	29855	31001	33999	34886		
t газ.пр.накопл			0	0	0	0	0,6254	4,3883	10,691	17,461	24,361	26,157	26,628	27,874	29,532		
2	расстояние от начала, мм		0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667		
	$\lambda$ , Дж/(с·м·К)		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
	$\delta$ , мм		0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833		

Рис. 3. Внешний вид части листа электронной таблицы для компьютерных расчетов по моделированию скорости выделения тепла при горении

люлозы были взяты следующие начальные условия: температура термодеструкции — 254°C, средняя теплоемкость — 1,2 Дж/(г·К), средняя теплопроводность — 0,1 Вт/(м·К), теплота газификации — 840 Дж/г, теплота сгорания — 16,8 кДж/г [4]. Для расчетов было первоначально принято, что образец состоит из шести элементарных слоев.

На рис. 4 представлены полученные графики. Видно, что реальный график тепловыделения, полученный при испытании материала (усредненный из трех параллельных опытов), существенно отличается от расчетного (кривые 1 и 2). Для сглаживания скачков расчетной скорости тепловыделения

при последовательном выгорании была осуществлена ее коррекция усреднением скорости тепловыделения за предыдущие 10 с (кривая 3). Данная расчетная линия ближе к экспериментальной, однако расхождение все еще велико.

При выполнении расчетов не были приняты во внимание следующие экспериментальные факторы: изменение баланса нулевой линии при вводе в испытательную камеру держателя с образцом и тепловая инерционность прибора. Изменение нулевой линии хорошо описывается полиномом второй степени, получаемое уравнение может быть использовано при коррекции расчетов (рис. 5). Изме-

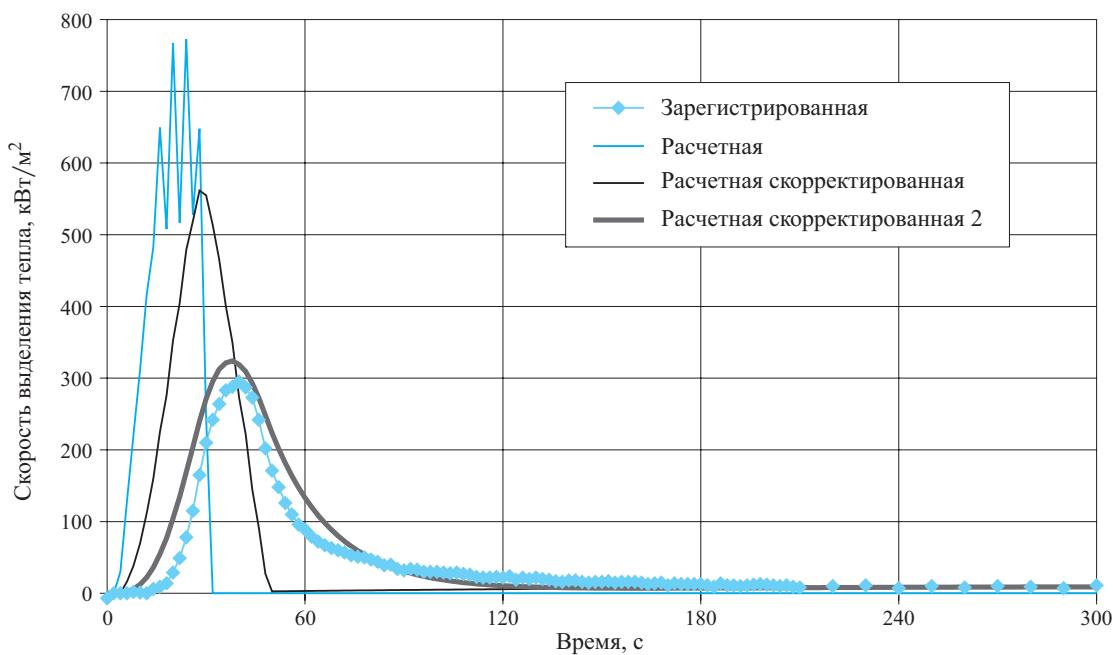


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные графики скорости выделения тепла для целлюлозы

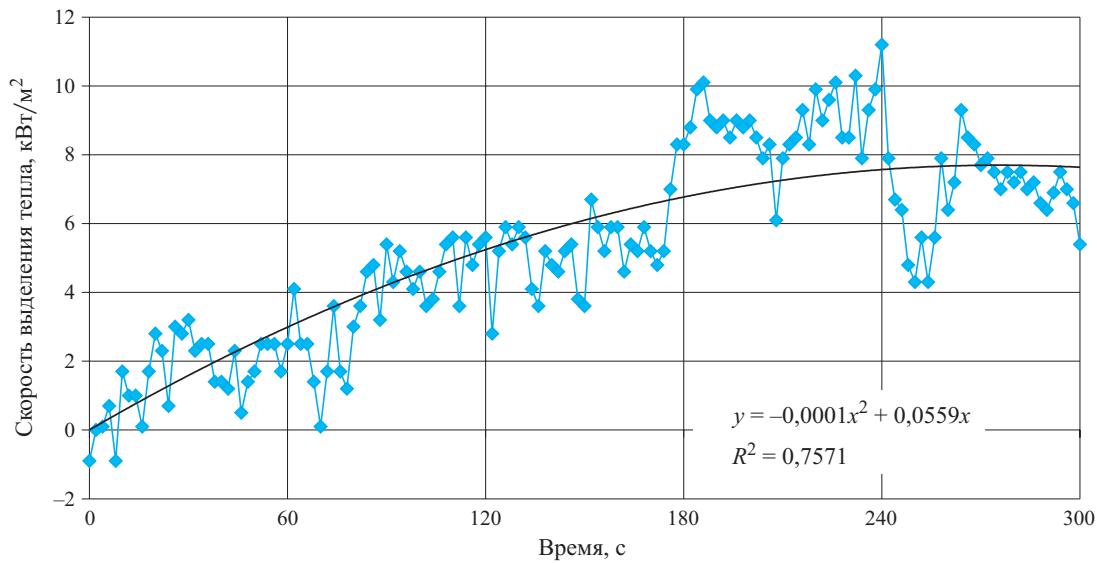


Рис. 5. Изменение нулевой линии при вводе держателя образца в испытательную камеру проточного калориметра

нение величины отклика с учетом тепловой инерции прибора (рис. 6) хорошо описывается уравнением вида:

$$\text{HRR}_{\text{pec}, k} = \text{HRR}_{\text{pec}, k-1} + (\text{HRR}_{\text{peak}} - \text{HRR}_{\text{pec}, k-1})K_{\text{откл}},$$

где  $\text{HRR}_{\text{pec}, k}$  и  $\text{HRR}_{\text{pec}, k-1}$  — регистрируемые скорости тепловыделения в  $k$ -й и  $k-1$ -й интервалы времени соответственно,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$\text{HRR}_{\text{peak}}$  — реальная скорость тепловыделения материала,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$K_{\text{откл}}$  — коэффициент отклика.

Заданное стандартное выделение тепла в эксперименте обеспечивается мгновенным изменением скорости подачи горючего газа (химически чистого метана) в калибровочную горелку с одного стандартного уровня на другой при помощи электромагнитных клапанов.

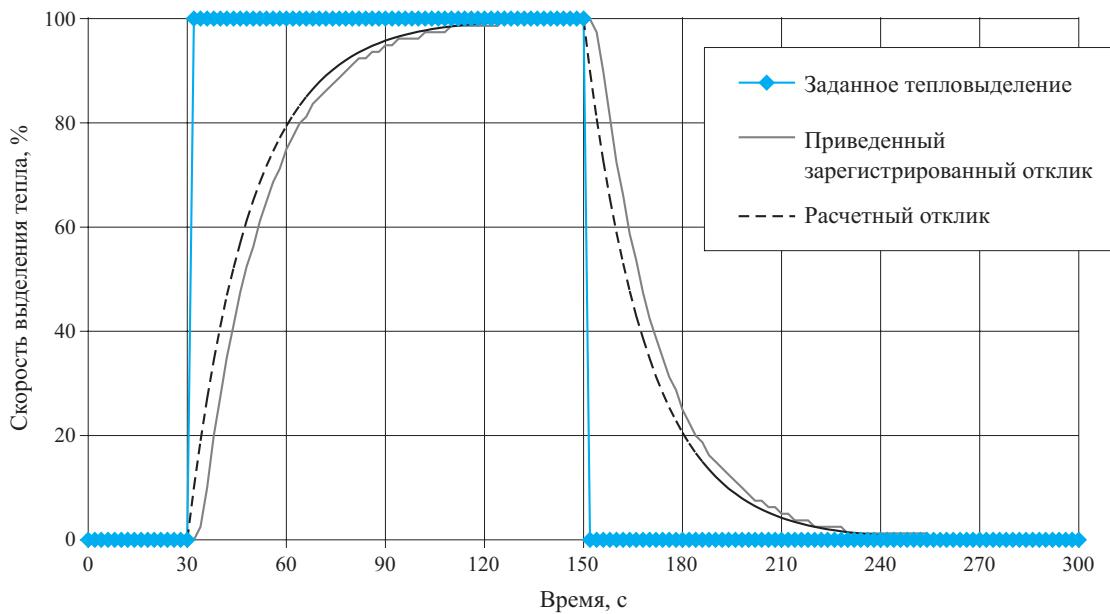


Рис. 6. Изменение величины отклика на стандартный сигнал во времени (тепловая инерционность) для проточного калориметра

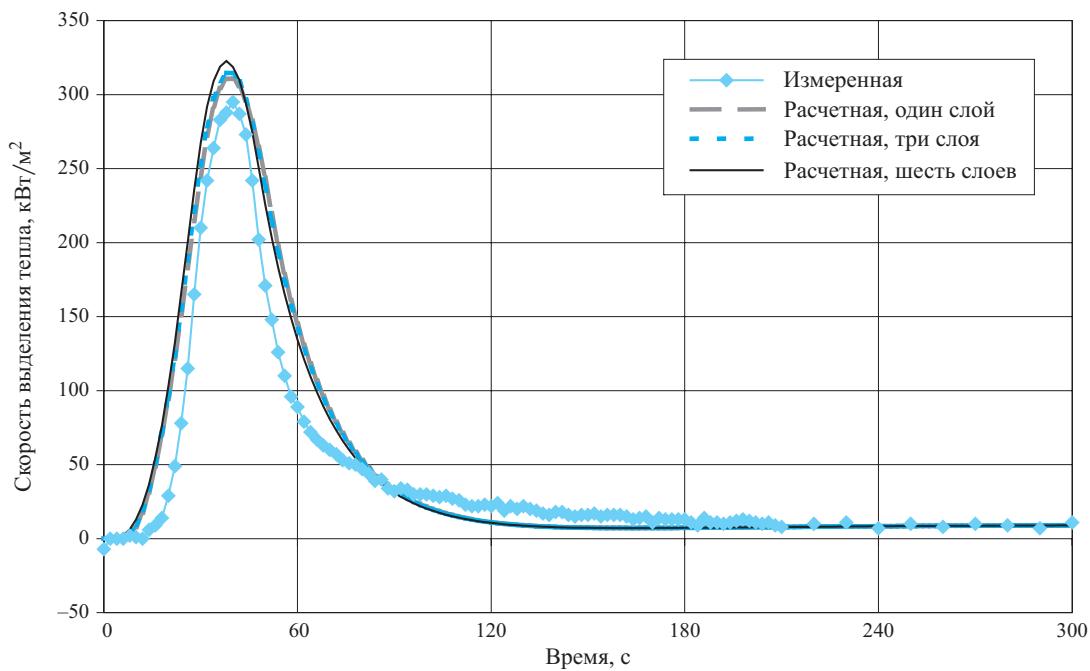


Рис. 7. Влияние заложенного количества элементарных слоев на получаемые расчетные значения скорости тепловыделения для целлюлозы

Для рассматриваемых экспериментальной установки и условий проведения испытаний совпадение расчетной линии отклика с реально зарегистрируемой линией скорости тепловыделения стандартного сигнала происходит при коэффициенте отклика, равном 0,1.

С учетом сделанных поправок на тепловую и временную инерционность прибора получена новая корректированная линия расчетной скорости выделения тепла (рис. 4, кривая 4). Видно, что полученная линия практически совпадает с реально зарегистрированной кривой скорости тепловыделения.

Была проведена оценка влияния количества заложенных элементарных слоев на получаемые расчетные значения (рис. 7). Очевидно, что для данного образца количество закладываемых элементарных слоев не имеет значения и кривая скорости выделения тепла одинаково хорошо описывается как единственным слоем, так и при разбиении на три или шесть слоев.

### ПММА

Результаты испытания листа ПММА толщиной 1,5 мм и расчетов скорости тепловыделения приведены на рис. 8. При расчетах были взяты следующие начальные условия: температура термодеструкции — 280°C, средняя теплоемкость — 1,46 Дж/(г·К), средняя теплопроводность — 0,2 Вт/(м·К), теплота газификации — 1630 Дж/г, теплота горения — 26,7 кДж/г [4]. Было первоначально принято, что образец состоит из шести элементарных слоев.

Видно, что расчетная скорость выделения тепла имеет более низкие значения, чем экспериментально измеренная. Следовательно, при уровне тепловыделения при горении материала порядка 1000 кВт/м<sup>2</sup> нельзя пренебрегать вкладом добавочного падающего теплового потока на образец от пламени. Поэтому уравнение (2) было модифицировано введением дополнительного члена, учитывающего дополнительный тепловой поток на образец от пламени:

$$q_{ex} = q_{nad} - q_{uzl} + HRR \cdot KDT,$$

где HRR — скорость выделения тепла от сгорающего образца, Вт/м<sup>2</sup>;

KDT — коэффициент, учитывающий добавочный тепловой поток на образец от пламени горящего образца.

Считается, что тепловой поток от пламени при горении снизу вверх полубесконечного вертикально расположенного образца составляет до 40% общего количества выделившегося тепла, при горении горизонтально расположенного образца — не превышает 20–30%.

При данных условиях испытаний пламя, в основном, находится выше образца, и тепловой поток от него падает на образец по касательной, близкой к поверхности образца, а составляющая пламени, расположенная на уровне образца, частично экранирует падающий тепловой поток на образец от стандартного источника излучения. В связи с этим добавочный тепловой поток от пламени на образец должен составлять порядка 1–5% скорости тепловыделения при горении.

Сопоставление расчетных кривых тепловыделения с кривой реально зафиксированного выделе-

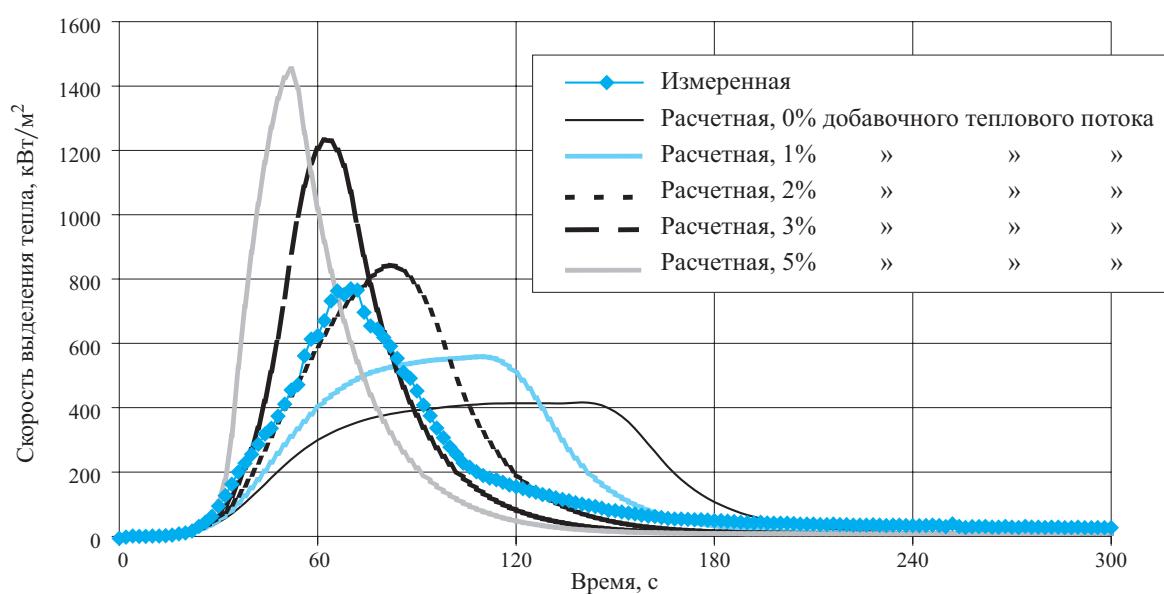


Рис. 8. Влияние учета добавочного теплового потока от пламени на образец на расчетные кривые скорости выделения тепла при горении листа ПММА

ния тепла показывает, что наилучшее совпадение результатов наблюдается при коэффициенте добавочного теплового потока от пламени, близком к 2–2,5% (рис. 8).

Как и для целлюлозы, была проведена оценка влияния количества заложенных элементарных слоев на получаемые расчетные значения (рис. 9).

Анализ получаемых кривых показывает, что для образца ПММА толщиной 1,5 мм количество закладываемых элементарных слоев не оказывает влияния на кривую скорости выделения тепла, и она одинаково хорошо описывается как единственным слоем, так и при разбиении на три или шесть элементарных слоев.

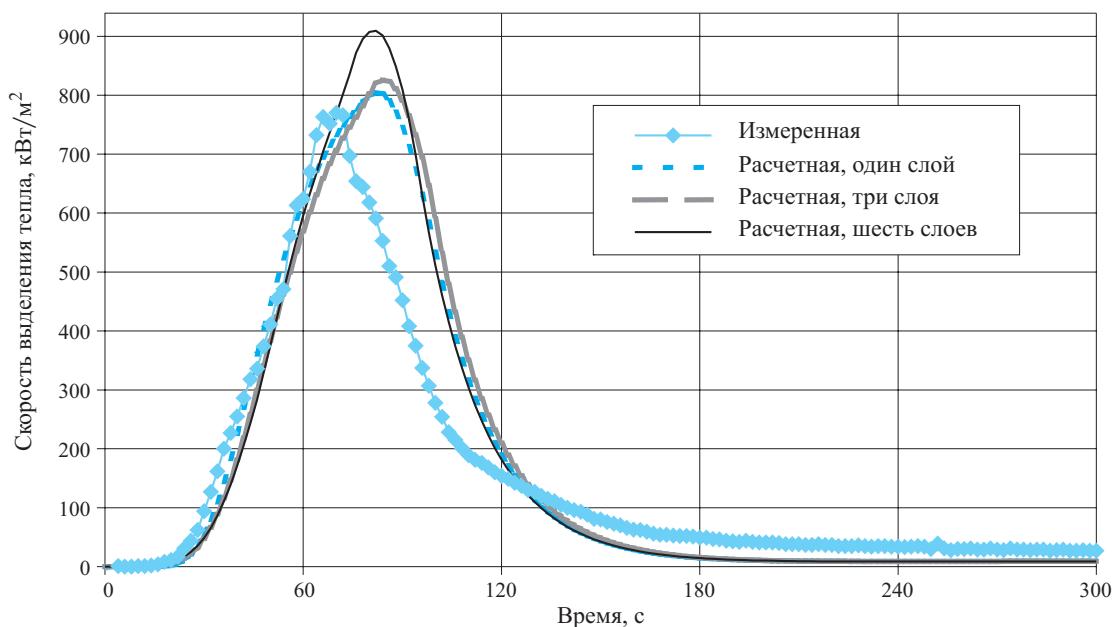


Рис. 9. Влияние заложенного количества элементарных слоев на получаемые расчетные значения скорости тепловыделения для ПММА толщиной 1,5 мм

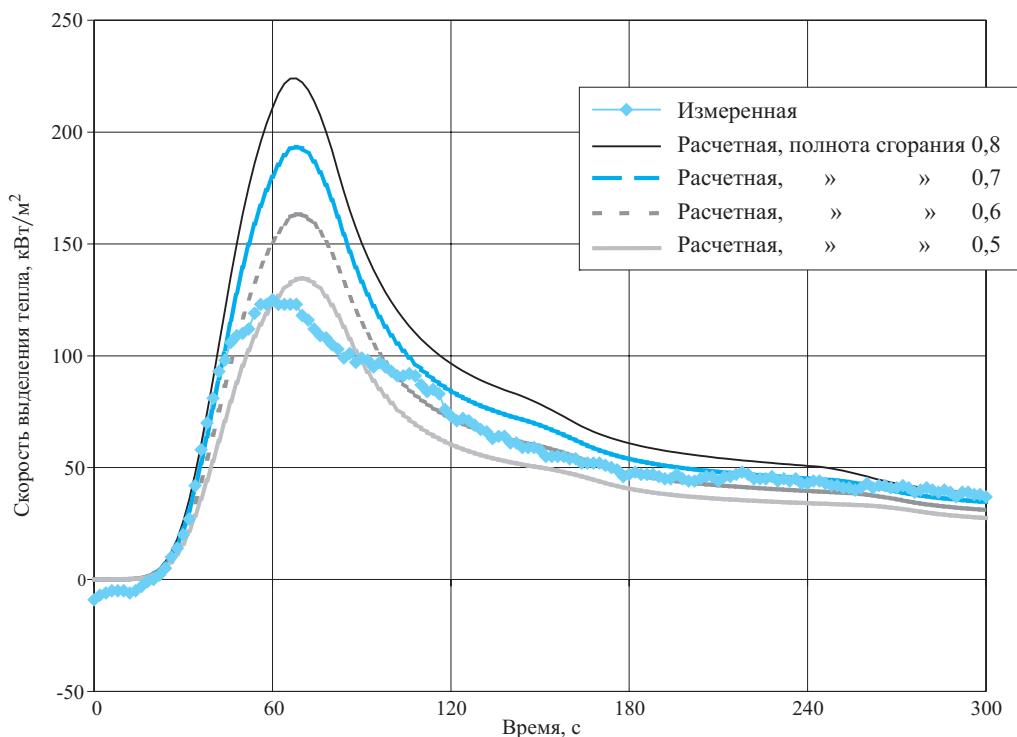


Рис. 10. Влияние коэффициента полноты сгорания на расчетную кривую скорости выделения тепла при горении листа поликарбоната

### Термопласт с коксообразованием

В качестве следующего образца был взят лист промышленного поликарбоната толщиной 1,1 мм, содержащий антипирены, красители и инертный наполнитель (диоксид титана). Данный материал используется при отделке интерьера пассажирской авиационной техники. При расчетах были взяты следующие начальные условия: средняя теплоемкость — 1,26 Дж/(г·К), средняя теплопроводность — 0,2 Вт/(м·К), теплота газификации — 2070 Дж/г [4], теплота горения — 29,7 кДж/г [5]. На основании данных дериватографического анализа образца материала при скорости нагрева 10°C/мин температура термического разложения была принята равной 400°C. Данный материал при термодеструкции коксуется, коксовое число для поликарбоната составляет 24% [6]. Реально количество образовавшегося кокса в зависимости от условий пиролиза и горения соответствует 5–30%. Было принято, что коксовое число составляет 0,2. Для расчетов было первоначально выбрано, что образец состоит из шести элементарных слоев.

Большое влияние на количество выделяемого при горении тепла оказывает полнота сгорания газообразных продуктов термодеструкции. Считается, что для хорошо горящих материалов типа целлюлозы полнота сгорания может составлять 95–100%, для синтетических полимеров в зависимости от их химического состава — 80–95%, причем степень полноты сгорания уменьшается при увеличении дымообразующей способности. Введение в состав полимера антипиренов, особенно действующих в газовой фазе, приводит к снижению полноты сгорания как образующихся горючих па-

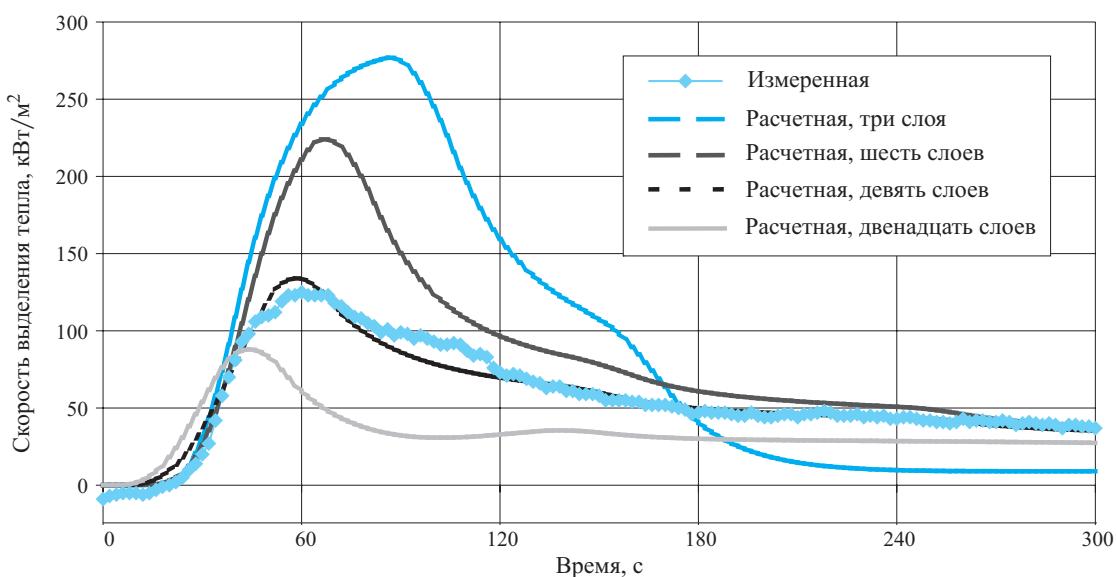
рогазовых продуктов термодеструкции полимера, так и газового пламени, обеспечивающего дожигание газообразных продуктов термодеструкции образца.

Полученные результаты испытаний образца листа поликарбоната и расчетов скорости его тепловыделения представлены на рис. 10. Видно, что наилучшее совпадение расчетной кривой с экспериментальной происходит при полноте сгорания ~0,7, это значение является несколько заниженным, поэтому для дальнейшей работы была выбрана полнота сгорания 0,8.

Проведем оценку влияния количества заложенных элементарных слоев на расчетные результаты при полноте сгорания 0,8 (рис. 11). Видно, что для коксующегося материала выбор количества элементарных слоев является критичным и влияет на расчетные показатели. Наилучшее совпадение с экспериментальной кривой наблюдается при количестве заложенных экспериментальных слоев, равном девяти (толщина расчетного элементарного слоя составляет 0,12 мм).

### Стеклопластик на основе термопластичного связующего

В качестве образца для испытания был выбран стеклопластик, изготовленный прессованием из стеклоткани Т-15(П)-76 и пленочного поликарбоната. Образец имел следующие характеристики: содержание связующего — 40%, толщина — 1,0 мм, количество слоев стеклоткани — шесть. Теплофизические и химические свойства при расчетах были приняты равными аналогичным для поликарбонатного листа.



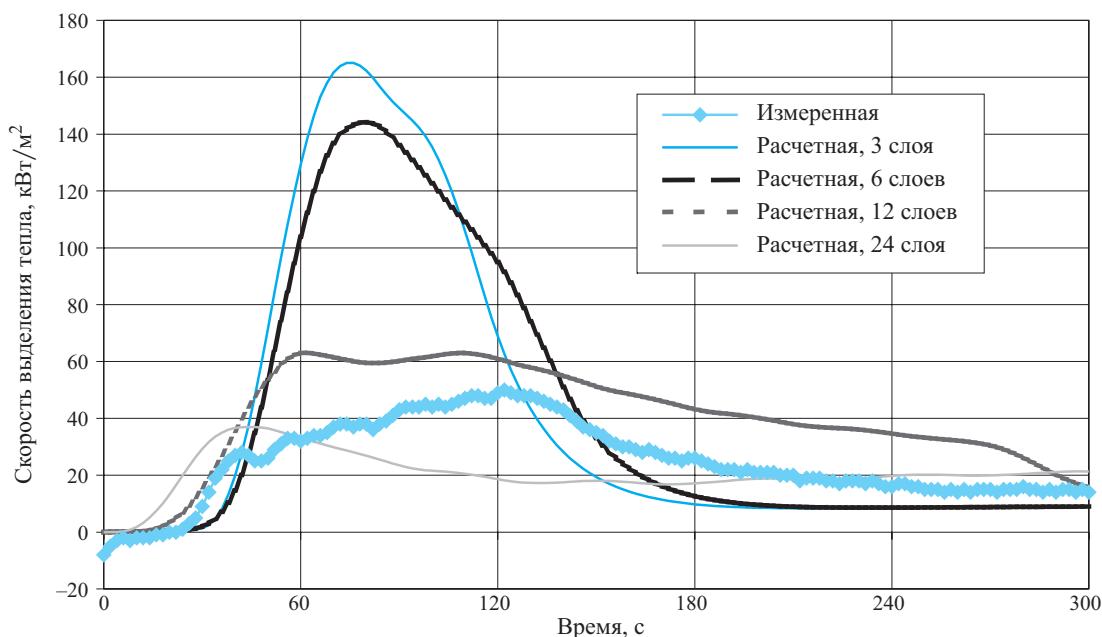
**Рис. 11.** Влияние количества заложенных элементарных слоев на расчетные кривые скорости тепловыделения при горении листа поликарбоната

Первоначально количество элементарных слоев выбрано равным числу слоев стеклоткани — 6. Экспериментальная и расчетные кривые скорости тепловыделения приведены на рис. 12. Видно, что характер и расположение расчетной и экспериментальной кривых существенно различаются. Тогда были сделаны расчеты для различного количества элементарных слоев. Наиболее близкой к экспериментальной кривой является линия, полученная для 12 слоев.

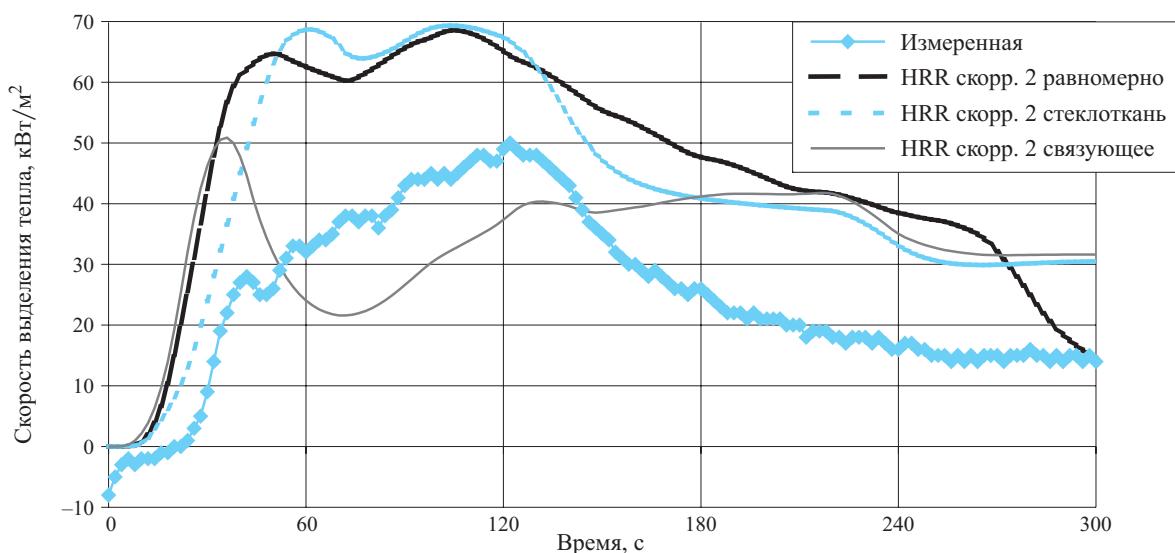
Предложенная математическая модель позволяет произвести расчет для многослойного тела с различным составом слоев. На рис. 13 представлены

расчетные кривые для равномерного распределения связующего и наполнителя по всему объему, а также для чередующихся слоев стеклоткани и связующего (принято, что слой стеклоткани содержит 10% полимера). Видно, что линии тепловыделения для моделей с равномерным распределением связующего и с лицевым слоем из стеклоткани практически совпадают, а модель для стеклопластика с лицевым слоем из полимера имеет существенно отличающийся характер.

На рис. 14 приведено семейство расчетных кривых для модели стеклопластика с различным содержанием связующего в слое стеклоткани (общее со-



**Рис. 12.** Расчетные и экспериментальные кривые скорости тепловыделения для стеклопластика на термопластичном связующем



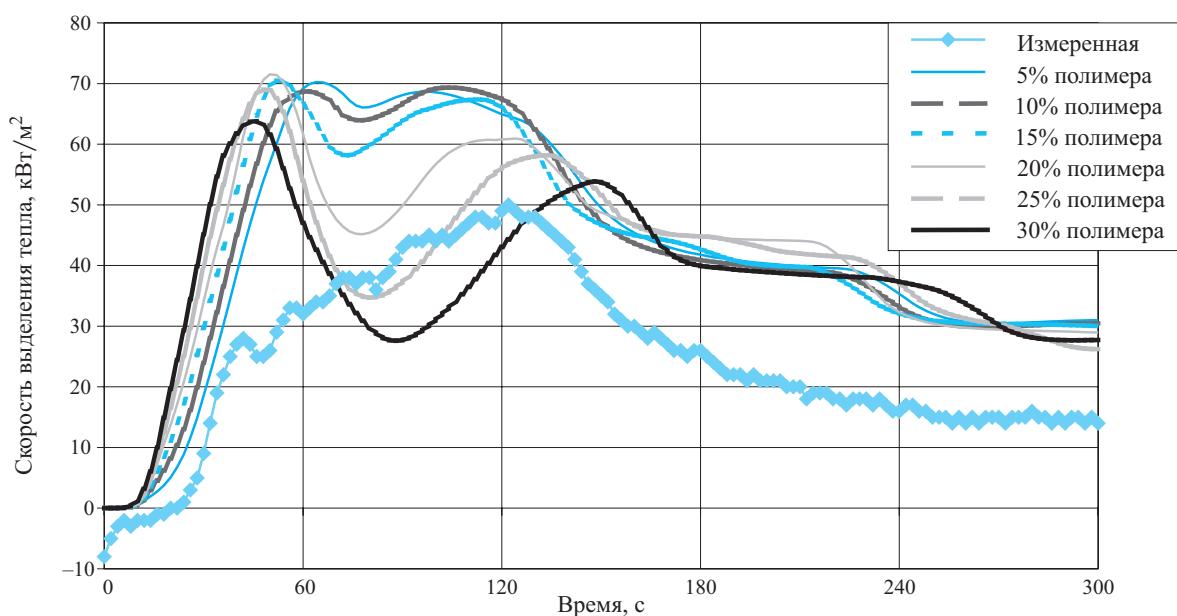
**Рис. 13.** Влияние учета распределения связующего в элементарных слоях на расчетную кривую скорости тепловыделения стеклопластика

держание связующего в стеклопластике оставалось неизменным — 40%). Видно, что наиболее близкими по форме к экспериментальной являются расчетные линии для моделей с чередованием слоев: нечетный слой — стеклоткань с содержанием связующего 5–10%, четный — полимер.

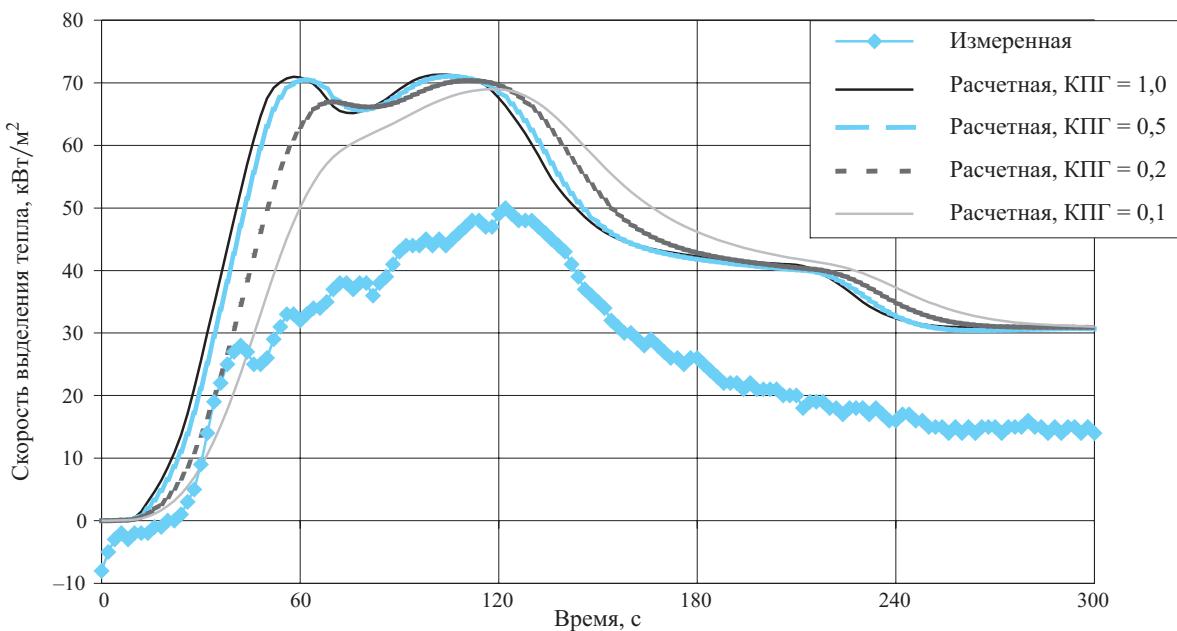
При термическом воздействии на стеклопластик образующиеся газообразные продукты при выделении на поверхность, в отличие от термопластиков, испытывают дополнительное сопротивление, оказываемое слоями стеклоткани (газопроницае-

мость ткани). Предполагая, что каждый слой стеклоткани временно задерживает проходящие через него газообразные продукты, можно попытаться оценить влияние фильтрующих слоев стеклоткани на вид кривой скорости выделения тепла (рис. 15). Видно, что изменение коэффициента прохода газов в широком диапазоне не оказывает существенного влияния на ход кривой тепловыделения.

Расчеты для данного образца стеклопластика показывают, что скорость тепловыделения почти в 1,5 раза выше наблюдаемой. Кроме того, общее за-



**Рис. 14.** Влияние содержания связующего в элементарном слое со стеклотканью на расчетную кривую скорости тепловыделения стеклопластика



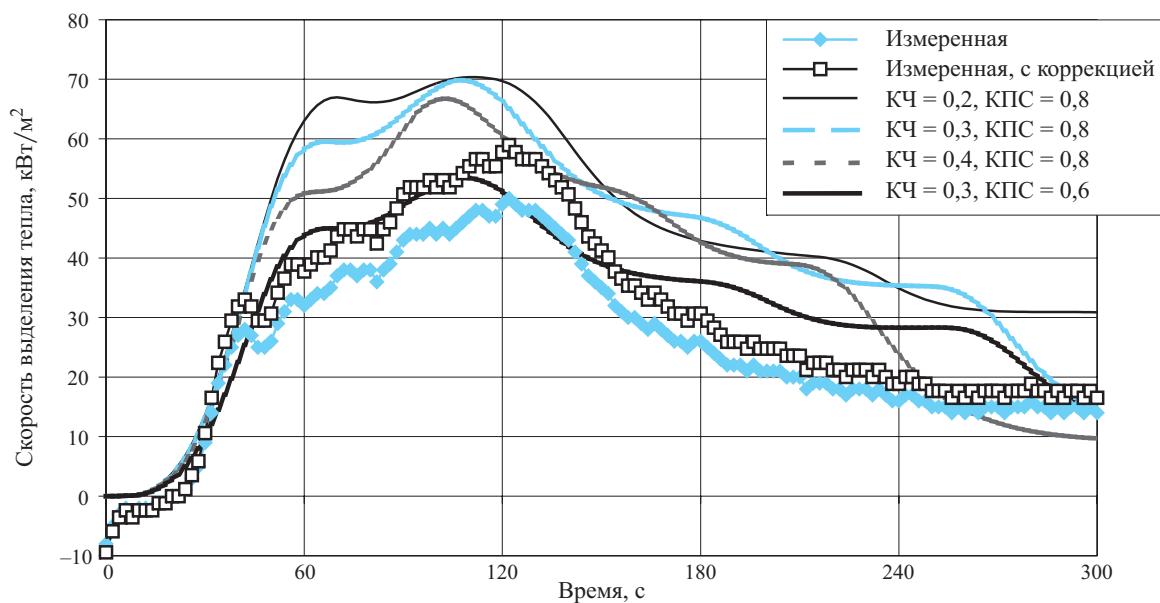
**Рис. 15.** Влияние задержки газообразных продуктов термодеструкции слоями стеклоткани на расчетную скорость выделения тепла для стеклопластика

регистрированное количество выделившегося тепла за время испытания также примерно в 1,5 раза меньше расчетного.

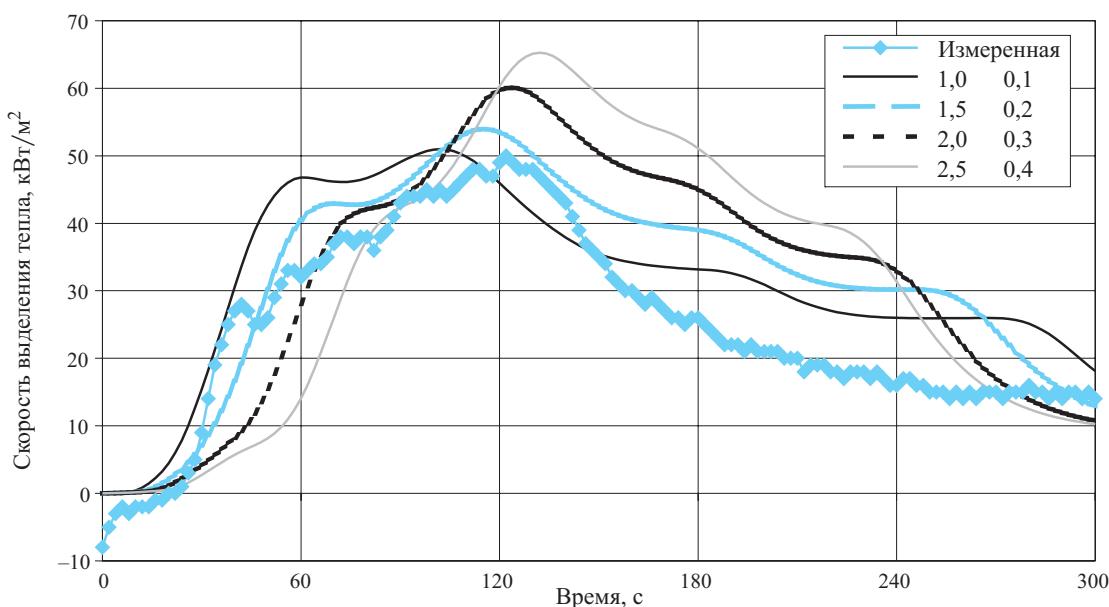
Необходимо отметить, что при проведении испытаний стеклопластика, в отличие от предыдущих материалов, не происходило выгорания материала на кромках, используемых для закрепления образца. В связи с этим необходимо произвести пересчет наблюдаемой скорости выделения тепла, используя поправочный коэффициент  $152^2/140^2 = 1,179$ , т.е. зарегистрированные значения необходимо увеличить на 18%. Но использование этого поправочного

коэффициента не обеспечивает совпадения расчетов с экспериментальными данными. Можно предположить, что при испытаниях стеклопластиков, по сравнению с испытаниями отдельного связующего, коксовое число полимера вследствие взаимодействия горючих газов со слоями стеклоткани возрастает (рис. 16). По графикам видно, что наилучшее совпадение экспериментальной и расчетной кривых наблюдается при величине коксового числа, равной 0,3, и уменьшенной полноте сгорания (0,6 вместо 0,8).

Так как зачастую информация о точных значениях и изменении при температуре таких теплои-



**Рис. 16.** Сопоставление расчетной кривой скорости выделения тепла с экспериментальной с учетом повышенного коксобразования полимера и невыгорания кромок образца



**Рис. 17.** Влияние значений теплоемкости и теплопроводности на расчетные характеристики (в легенде первое значение — теплоемкость, Дж/(г·К), второе — теплопроводность, Вт/(м·К))

зических характеристик, как теплопроводность и теплоемкость, оказывающих влияние на скорость прогрева материала, для конкретной марки материала в справочной литературе отсутствует, то целесообразно попытаться оценить влияние этих факторов на расчетные значения скорости выделения тепла.

Для большинства полимеров различной химической природы теплопроводность находится в интервале 0,08–0,44 Вт/(м·К), а теплоемкость — 1,0–2,5 Дж/(г·К) [7]. Для стеклопластиков теплопроводность составляет 0,23–0,34 Вт/(м·К), а теплоемкость — 1,46–1,51 Дж/(г·К) [8]. Семейство кривых расчетной скорости выделения тепла приведено на рис. 17. Видно, что изменение теплофизических характеристик приводит к сдвигу расчетного графика по оси абсцисс, но 1,5-кратное изменение теплоемкости и теплопроводности не оказывает существенного влияния на кривую скорости выделения тепла.

### Выводы

Построена математическая модель прогрева и пиролиза полимерных и композиционных материа-

лов, позволяющая рассчитывать скорость выделения тепла при горении разнородных и слоистых материалов. Произведено сопоставление расчетных характеристик с реально наблюдаемым тепловыделением при испытаниях в проточном калориметре типа OSU. Показана работоспособность модели и возможность ее дальнейшей эксплуатации.

К недостаткам применения математической модели относятся: одностадийность процесса термодеструкции, отсутствие учета процесса выгорания коксового слоя, непрозрачность элементарного слоя при любой толщине. Все это не позволяет проводить оценку сильнооксюзящихся вспенивающихся материалов, а при моделировании стеклопластиков и коксующихся термопластов требует точного подбора толщины элементарного слоя.

На основании расчетных данных показано влияние таких характеристик стеклопластика, как газопроницаемость ткани, распределение связующего по слоям, теплоемкость и теплопроводность, на скорость выделения тепла.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории / Межгосударственный авиационный комитет. — Л.: Издательство ЛИИ им. М. М. Громова, 1994. — Приложение F, часть IV. — 322 с.
2. Штейнберг А. С. Линейный пиролиз. — Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1976. — 16 с.
3. Magee R. S., McAlevy R. F. The mechanism of flame spread / In "Surface flame spread". — V. 5. Fire and flammability series // Ed. by C. J. Hilado. — Technomic Publishing Co, Westport, Conn. USA, 1973. — P. 8–27.
4. Полимерные материалы с пониженной горючестью. — М.: Химия, 1986. — С. 18.
5. Горючесть и дымообразующая способность полимерных материалов авиационного назначения. — М.: ВИАМ, 1986. — С. 77.
6. Асеева Р. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М.: Наука, 1981. — С. 127.
7. Энциклопедия полимеров. — М.: Советская энциклопедия, 1977. — Т. 3.
8. Теплофизические свойства веществ: Справочник. — М.: Госэнергоиздат, 1956. — 367 с.

Поступила в редакцию 02.04.07.



Младший научный сотрудник  
Санкт-Петербургский филиала  
ФГУ ВНИИПО МЧС РФ  
**М. С. Смирнов**



Канд. техн. наук, ведущий научный  
сотрудник Санкт-Петербургского  
филиала ФГУ ВНИИПО МЧС РФ  
**А. С. Букин**

УДК 614.841.41

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ГОРЮЧЕСТИ МАТЕРИАЛОВ, СКЛОННЫХ К ТЛЕНИЮ

Рассмотрены вопросы, касающиеся методики испытаний строительных материалов на горючесть по ГОСТ 30244 [1]. Отмечено, что изложенная в нормативном документе методика не всегда позволяет определить время термоокислительного разложения (тления) образцов материалов. Предложены дополнения в действующую методику, позволяющие устранить имеющиеся недостатки.

Одним из основных показателей, характеризующих строительные материалы с точки зрения их пожарной опасности, является горючесть. С 1996 г. на территории Российской Федерации действует ГОСТ 30244 [1], который устанавливает методы испытаний строительных материалов на горючесть и классификацию их по группам горючести.

В соответствии с требованиями указанного нормативного документа для определения группы горючести материалов оцениваются следующие параметры:

- температура дымовых газов;
- степень повреждения по длине;
- степень повреждения по массе;
- продолжительность самостоятельного горения (тления);
- для материалов групп горючести Г1–Г3 не допускается образование горящих капель расплава.

Следует отметить, что оценка первых трех из перечисленных параметров горючести осуществляется инструментальными методами и их определение не вызывает сложностей. Также весьма просто проводится фиксирование продолжительности самостоятельного горения и образования (или отсутствия) горящих капель расплава, хотя эти параметры и определяются визуально. Вместе с тем визуальный контроль не всегда позволяет определить время, в течение которого происходит тление образцов материалов, что, в свою очередь, не позволяет произвести объективную оценку группы горючести.

Известно, что тление — это беспламенное горение твердого вещества (материала) при сравни-

тельно низких температурах (400–600°C), часто сопровождающееся выделением дыма [2].

Проведение испытаний различных типов строительных материалов на горючесть позволило установить наличие тления у ряда теплоизоляционных материалов, продолжительность которого визуально крайне сложно определить из-за малого дымовыделения и отсутствия видимых признаков процесса. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлена фотография образцов такого материала после окончания испытаний. Результаты тестирования позволили установить, что температура дымовых газов не превысила 135°C, степень повреждения по массе — менее 20%, степень повреждения по длине — менее 65%, самостоятельное горение материала и горящие капли расплава отсутствуют. Таким образом, материал может быть отнесен к группе горючести Г1. Вместе с тем было замечено, что после выключения источника зажигания не происходило быстрого снижения температуры на поверхности образцов, а их остывание до температуры окружающей среды наблюдалось в течение длительного периода времени (для некоторых типов теплоизоляции оно составляло около 1 ч). Это позволило сделать предположение о наличии внутри материала процессов прогрессирующего внутреннего тления.

На рис. 2 представлена фотография тех же (см. рис. 1) образцов, но разрезанных вдоль продольной оси, после их остывания до комнатной температуры. При сравнении снимков видно, что внутренние повреждения образцов намного больше, чем на их поверхности. Это косвенно подтверж-



Рис. 1. Внешний вид образцов теплоизоляционного материала после испытаний



Рис. 2. Образцы теплоизоляционного материала после испытаний, разрезанные вдоль продольной оси

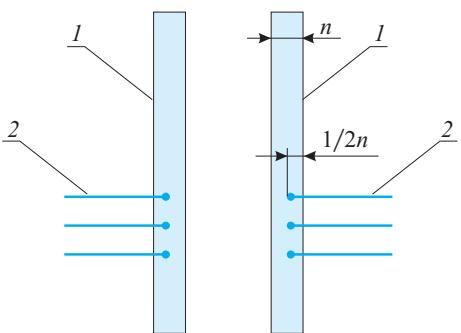


Рис. 3. Схема образцов материала, оснащенных термопарами: 1 — термопара; 2 — образец

дает ранее сделанное предположение о наличии внутреннего тления в образцах теплоизоляции после выключения источника зажигания.

Для проверки предположения после выключения источника зажигания образцы материала поочередно извлекались и разрезались вдоль продольной оси с целью определения процессов тления и замера длины внутренних повреждений. Установлено, что сразу после выключения источника зажигания степень поражения по длине составила 22%, через 30 с — 37%, а через 300 с — 54%. При этом из разрезанных образцов наблюдалось выделение незначительного количества дымовых частиц. Следует отметить, что тление внутри материала не прекратилось и через 300 с с момента выключения источника зажигания. После остывания образцов до комнатной температуры степень поражения по длине составила 67%. Таким образом, было установлено, что исследуемый материал относится по горючести к группе Г4 (время самостоятельного тления — более 300 с, степень поражения по длине — 67%), однако определить точное время тления при этом не представлялось возможным.

Для устранения этого недостатка, по мнению авторов, следует внести дополнения в действующую методику определения групп горючести материалов, изложенную в ГОСТ 30244 [1]. Ниже предлагается алгоритм действий по установлению времени тления материала.

Первоначально проводится один эксперимент по определению группы горючести материала по методике, изложенной в ГОСТ 30244 [1]. По окончанию эксперимента остывшие до комнатной температуры образцы разрезают вдоль продольной оси и определяют границы зоны внутреннего повреждения материала по длине. Если длина внутренних повреждений больше, чем на поверхности материала, то при последующих двух экспериментах внутрь любых двух образцов по центральной оси устанавливаются термопары как показано на рис. 3. Термопары размещают начиная с верхней границы

зоны внутренних повреждения образцов до нижней (с шагом 50 мм по вертикали). Горячий спай термопар должен находиться внутри образцов на расстоянии от поверхности, равном половине толщины образцов. Далее осуществляются эксперименты в соответствии с методикой испытаний, изложенной в ГОСТ 302244 [1], и дополнительно после выключения источника зажигания фиксируются значения температур по центральной оси образцов через каждые 15 с до их остывания.

В случае отсутствия процессов внутреннего тления начальные значения температур внутри образца после выключения источника зажигания возрастать не будут. При наличии прогрессирующего тления его фронт будет продвигаться в основном в вертикальном направлении, поэтому повышение температуры будет фиксироваться не сразу всеми температурными датчиками, а последовательно, начиная с нижней части образцов. Время от момен-

та выключения источника зажигания до последнего зафиксированного повышения температуры (при экспериментах фиксировалось превышение температуры на 200°C и более) и будет временем фактического тления образцов материала.

Следует отметить, что численные значения “шага” размещения термопар по длине образцов, интервала времени между замерами температур и фиксируемой величины превышения температуры при проведении экспериментов требуют уточнения при проведении дополнительных научных исследований.

Предлагаемая усовершенствованная методика экспериментального определения группы горючести строительных материалов была опробована в двух независимых испытательных лабораториях. При этом получены идентичные результаты испытаний материалов, склонных к внутреннему тлению.

## ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.
- Термины и определения по пожарной безопасности, пожарной технике и строительству: Словарь / Ю. М. Кондрашин // М.: Пожарная информатика и техника, 1993. — С. 91.

Поступила в редакцию 06.05.07.



Начальник отдела научных разработок и внедрения их в производство ОАО "Корпорация Тольяттиазот"

**С. В. Афанасьев**



Преподаватель кафедры "Пожарно-профилактических дисциплин" Тольяттинского военного технического института

**Р. В. Коротков**



Адъюнкт кафедры "Организации и управления противопожарными подразделениями" Тольяттинского военного технического института

**И. В. Кузьмин**



Адъюнкт кафедры "Организации и управления противопожарными подразделениями" Тольяттинского военного технического института

**А. А. Триполицyn**

УДК 614.841.411

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ АМИДОФОСФАТА

Приведены основные компоненты и характеристики новых огнезащитных составов многофункционального действия марки ОСА на основе амидофосфатов и алюмохромфосфатов, предназначенных для древесины и материалов на ее основе. Данные составы относятся к классу поверхностных пропиток, разработаны также композиции вслучивающегося действия. По результатам испытаний огнезащитные составы отнесены к I группе огнезащитной эффективности.

Проблема огнезащиты древесины в последние годы приобрела большую актуальность ввиду многочисленных пожаров на гражданских объектах и арсеналах боеприпасов Министерства обороны [1, 2].

С целью расширения ассортимента отечественных антипиренов для огнезащиты древесины авторами предложены новые продукты марки ОСА, показатели качества одного из которых (ОСА-1) представлены в табл. 1.

Основным компонентом для получения указанного продукта является карбамидоформальдегидный концентрат КФК-80 или КФК-85, причем антипирен получают в виде маловязкого водного раствора, пригодного для использования. Для связывания остаточного формальдегида предусмотрен ввод на завершающей стадии процесса 1–10 мас. % карбамида (ОСА-1) или меламина (ОСА-2) [2] в расчете на 100 мас. % карбамидоформальдегидного концентрата. В последнем случае отмечено существенное повышение огнезащитной эффективности продукта.

Испытания данных огнезащитных составов проведены в соответствии с НПБ 251–98 "Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний", результаты представлены в табл. 2.

Результаты испытаний показывают достаточно высокую огнезащитную эффективность ОСА-1. Нанесенный поверхностной пропиткой антипирен заметно препятствует пиролитическому разложению образцов древесины и в соответствии с методикой оценки по НПБ 251 отнесен к I группе огнезащитной эффективности.

**Таблица 1.** Характеристика антипирена ОСА-1

Показатель	Значение показателя
Внешний вид	Бесцветная жидкость, допускается наличие тонкой взвеси
Содержание формальдегида	Отсутствует
pH	6,0–7,5
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,15–1,25
Коэффициент рефракции, не менее	1,405
Температура замерзания, °C, не выше	Минус 15
Расход для перевода древесины в I группу огнезащитной эффективности, г/м <sup>2</sup>	300
Гарантийный срок хранения, месяцев	6

В табл. 3 приведены результаты исследований огнезащитной эффективности состава ОСА-2 [2].

Внешне испытанные образцы со стороны воздействия пламени горелки имели примерно на 50% поверхности незначительные повреждения в виде копоти, тогда как при сжигании необработанных образцов на этой же установке на их поверхности образовывался достаточно заметный карбонизованный слой. Средняя потеря массы составляла ~2%, что позволяет отнести ОСА-2 к составам I группы огнезащитной эффективности.

По результатам последних экспериментов можно выделить состав ОСА-2 как более эффективное средство ограничения распространения горения по поверхности древесины по сравнению с ОСА-1.

При необходимости огнезащитный состав может содержать антисептическую добавку [1, 2], обеспечивающую антисептирование в соответствии с требованиями ГОСТ 30028. Результаты испытаний показали, что добавление антисептика  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (5 или 10%) повышает огнезащитные свойства ОСА-1. Данный состав можно отнести к I группе огнезащитной эффективности.

**Таблица 2.** Определение группы огнезащитной эффективности ОСА-1 (продолжительность испытания — 2 мин)

Масса, г		Потеря массы		Группа огнезащитной эффективности
до испытания	после испытания	г	%	
126,4	119,3	7,1	5,01	I
132,6	126,7	5,9	4,44	I
126,5	120,6	5,9	4,66	I
123,6	117,0	6,6	5,33	I
134,3	128,5	5,8	4,3	I
145,8	135,5	10,3	7,1	I
135,5	126,9	8,6	6,3	I
124,6	116,9	7,7	6,2	I
161,1	138,2	22,9	14,2	II
131,2	127,2	4	3,0	I

**Таблица 3.** Определение группы огнезащитной эффективности ОСА-2 (продолжительность испытания — 2 мин)

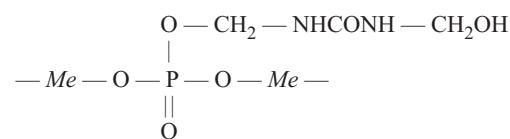
Масса, г		Потеря массы		Группа огнезащитной эффективности
до испытания	после испытания	г	%	
219,8	216,3	3,5	1,6	I
203,5	199,2	4,3	2,1	I
215,7	212,5	3,2	1,5	I
174,6	171,3	3,3	1,9	I
137,0	133,2	3,8	2,8	I

Антиприены ОСА-1, ОСА-2 и ОСА-1 А синтезируются на основе доступного отечественного сырья с использованием технологического оборудования, которым оснащены многие предприятия, производящие карбамидоформальдегидные смолы.

Важно отметить, что составы ОСА-1, ОСА-2 и ОСА-1 А мало влияют на время желатинизации карбамидоформальдегидной смолы в присутствии отвердителя — хлористого аммония, а их ввод в готовую смолу существенно снижает эмиссию формальдегида из древесно-стружечных и древесноволокнистых плит. Антиприены не содержат свободный формальдегид, обладают хорошей смачиваемостью поверхности и проникаемостью внутрь древесины. В случае продукта ОСА-2 прирост массы образцов из сосны, выдержаных в течение суток в растворе антиприена, составил 50%. Присутствующие в структуре огнезащитных составов полярные и неполярные функциональные группы обеспечивают многоточечную адсорбцию молекул на поверхности гемицеллюзозы и целлюлозы с последующим образованием более прочных химических связей, преимущественно эфирных. Себестоимость получения продуктов не превышает 10–12 тыс. руб./т, что дает определенные преимущества на рынке антиприенов.

По данным [3] создание древесных плит с высокой огнестойкостью может быть осуществлено и использованием металлофосфатного связующего в комбинации с органическим основанием с амидной связью при мольном соотношении  $\text{N:P} = 0,4\text{--}0,6$ . Свойства металлофосфатов обусловлены наличием в их составе активных катионов металлов, таких как  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{B}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , а также фосфатионов, взаимодействующих с функциональными группами древесины.

Алюмохромфосфаты являются смешанными солями следующего строения [4]:



где  $\text{Me}$  —  $\text{Al}$ ,  $\text{Cr}$ .

При уменьшении кислотности среды стабильность алюмохромфосфатного связующего падает и наблюдается его отверждение, т.е. поликонденсация. Этот процесс существенно ускоряется при наличии в структуре металлофосфата полярных функциональных групп, например метилольных. Последние могут быть введены путем замены 37%-го метанолсодержащего формалина на карбамидоформальдегидный концентрат при проведении синтеза смешанного алюмохромфосфата.

В соответствии с ТУ 2149-012-00206492-99 разработанное и освоенное в ЗАО «Корпорация Толь-

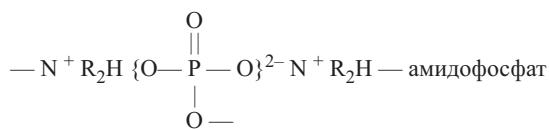
яттиазот” [5] модифицированное метилольными фрагментами алюмохромфосфатное связующее имеет показатели качества, представленные в табл. 4.

На основе огнезащитного состава ОСА-1 был разработан антипирен вспучивающегося действия ОСА-3 [6], который содержит алюмохромфосфат, неионогенное поверхностно-активные вещества (ПАВ) и нейтрализованный ортофосфорной кислотой полиамин общей формулы:



где  $n = 0,1$  и  $m = 0,1$ .

В ходе исследования установлено, что при смешении указанных реагентов образуется водорастворимая композиция, содержащая карбамидоформальдегидную смолу, амидофосфат и металлофосфат:



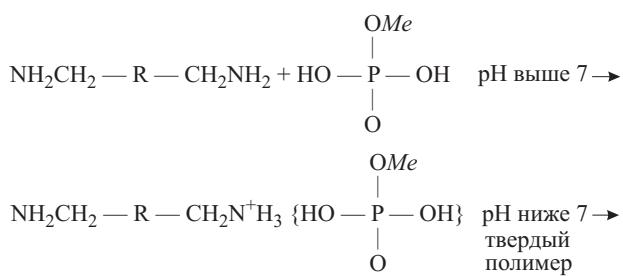
В процессе отверждения данной композиции формируются надмолекулярные структуры, склонные к вспучиванию при повышенной температуре.

Действительно, добавление полиамина к алюмохромфосфату вызывает снижение кислотности среды и поликонденсацию фосфатных групп. При этом полиамин выступает не только как регулятор pH, но и в качестве ускорителя твердения огнезащитного состава благодаря взаимодействию с метиломочевинными фрагментами, входящими в структуру металлофосфата.

**Таблица 4.** Показатели качества алюмохромфосфатного связующего

Показатель	Значение показателя
Внешний вид	Вязкая жидкость темно-зеленого цвета
Массовая доля алюминия в пересчете на $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %	6,5–9,0
Массовая доля хрома в пересчете на $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , %	3,5–4,5
Массовая доля фосфатов в пересчете на $\text{P}_2\text{O}_5$ , %	35–39
Массовая доля сульфатов в пересчете на $\text{SO}_4$ , %, не более	0,5
Массовая доля формальдегида, %, не более	0,2
Массовая доля потерь при прокаливании, %	47–55
Плотность, $\text{kg}/\text{m}^3$	1600–1750
Массовая доля хрома(IV) в пересчете на $\text{CrO}_3$ , %	Отсутствует

Также показано, что при  $\text{pH} < 7$  полиамин переходит в твердое состояние по механизму кислотной поликонденсации:



При нанесении огнезащитного состава на поверхность древесины возможно одновременное протекание двух реакций:

- отверждение нанесенной композиции аналогично реакции поликонденсации;
- химическое взаимодействие фосфатных групп с функциональными фрагментами древесины, обеспечивающее их огнестойкость.

Роль неионогенного ПАВ состоит в улучшении смачиваемости поверхности антипиреном и усиления его проникновения вглубь материала.

Благодаря указанной обработке углерод лигнина, целлюлозы и других высокомолекулярных компонентов в условиях их возгорания карбонизируется и препятствует развитию горения незащищенной древесины [6]. С другой стороны, образование труднорастворимых смолообразных продуктов при конденсации металлофосфата и полиамина защищает покровный слой антипирена от вымывания и атмосферных воздействий.

В табл. 5 приведены свойства огнезащитных составов вспучивающегося типа.

Получающееся покрытие обладает высокой адгезией и осуществляет свое огнезащитное действие

**Таблица 5.** Свойства огнезащитных составов вспучивающегося типа

Показатель	Значение показателя (примеры)		
Соотношение алюмохромфосфат : полиамин	5:1	5:2	5:3
Наличие формальдегида	Отсутствует		
Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$ , не выше	Минус 20		
Расход для I группы огнезащитной эффективности, $\text{g}/\text{m}^2$	380	360	330
Время высыхания одного слоя, ч	3		
Количество слоев	2		
Потеря массы при горении, %	1,7	1,6	2,0

в предповерхностном слое древесины и на поверхности, реализуя тем самым известный механизм огнезащиты в конденсированной фазе согласно теории каталитической дегидратации, а при наличии изоляции — теории покровного слоя. Декоративные свойства древесины направленно регулируются путем ввода в огнезащитный состав окрашенно-го соединения — бихромата калия.

Были исследованы различные концентрации компонентов:

<i>Серия</i>	<i>Компонент, массовые части</i>	
	<i>AХФС</i>	<i>КФК-80</i>
1-я.....	100	60
2-я.....	100	40
3-я.....	100	20

Изучены также разные степени обработки: в один, два и три слоя. Основные испытания прово-

дились на образцах, обработанных в два слоя, как наиболее рациональных.

На первом этапе исследований были определены группы огнезащитной эффективности. По результатам испытаний все три серии образцов относятся к I группе огнезащитной эффективности.

Для 1-й серии потери массы составили 1,4–1,6%, для 2-й — 1,2–2,3%, для 3-й — 1,6–2,0%.

На следующем этапе изучалась зависимость потери массы от увеличения продолжительности испытаний. Наилучшие результаты получены при испытании 3-й серии состава.

По результатам исследований видно, что снижение доли карбомидоформальдегидного концентрата приводит к улучшению свойств огнезащитного состава. Дальнейшее изменение концентрации компонентов нецелесообразно вследствие снижения качественных характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антиприрен на основе КФ-концентрата / С. В. Афанасьев, Р. В. Коротков и др. // Синтез, модификация и применение смол для древесных плит: Научно-практический семинар. — СПб.: Политехнический университет, 2004. — 114 с.
2. Составы для огнезащиты древесины / С. В. Афанасьев, Р. В. Коротков и др. // Коршуновские чтения: Сборник научных трудов. — Тольятти: ТГУ, 2005. — С. 59.
3. Фосфатные связующие в производстве древесных плит многофункционального назначения / Н. Е. Николаев и др. // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: Тезисы Междунар. научно-практического семинара. — Балабаново, 2002. — С. 70.
4. Материалы на основе металлофосфатов / В. А. Копейкин, А. П. Петрова, И. Л. Рашкован. — М.: Химия, 1976. — 58 с.
5. Патент RU № 2187478, кл. C04 B12/02. Способ получения хромалюмфосфатного связующего / В. Н. Махлай, С. В. Афанасьев, М. А. Барышева, А. С. Виноградов. — Бюлл. №23 от 20.08.2002 г.
6. Антиприрены для древесины / С. В. Афанасьев, Р. В. Коротков // Древесные плиты — теория и практика: Международная научно-практическая конференция. — СПб., 2005. — С. 57.

Поступила в редакцию 14.05.07.



Преподаватель кафедры "Пожарная безопасность в строительстве"  
Академии ГПС МЧС РФ  
**Н. Д. Солнцев**

УДК 614.842.6

## К ВОПРОСУ ОГНЕСТОЙКОСТИ ВОЗДУХОВОДОВ СИСТЕМ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ ГОРОДСКИХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Для расчета огнестойкости и параметров огнезащиты воздуховодов систем дымоудаления городских автотранспортных тоннелей разработана методика, основанная на численном решении связанных между собой теплотехнической и статической задач. Методика позволяет учитывать отличия условий сертификационных испытаний огнестойких воздуховодов по методу НПБ 239-97 [1] от условий их работы при вероятном пожаре.

**В** последнее десятилетие из-за быстрого роста автотранспортного парка крупных городов строительство объектов транспортного назначения приобрело масштабный характер. К таким объектам относятся и тоннели.

Система противодымной защиты является одной из систем, играющих ключевую роль в противопожарной защите подземного сооружения. Она предназначена для исключения заполнения образующимися при пожаре продуктами горения (дымом, токсичными газовоздушными смесями) жизненно важных зон: путей эвакуации; мест спасения людей; помещений, требующих постоянного присутствия персонала; мест проведения боевой работы специальных подразделений по ликвидации чрезвычайной ситуации. Надежное функционирование этой системы при пожаре особенно важно в крупных со сложной планировкой подземных сооружениях и тоннелях [2].

Одним из основных элементов системы противодымной защиты является разветвленная сеть воздуховодов с нормируемыми пределами огнестойкости.

Условия работы воздуховодов системы дымоудаления принципиально отличаются от условий их огневых испытаний по методике НПБ 239-97 [1] прежде всего наличием интенсивного внутреннего нагрева стенки дымовыми газами, текущими внутри воздуховода, поэтому непосредственный перенос результатов сертификационных испытаний огнезащиты воздуховодов по методике указанных норм на натуру невозможен. Из сказанного со всей

очевидностью следуют важность и необходимость разработанной коллективом авторов методики расчета огнестойкости и требуемых толщин огнезащиты воздуховодов противодымной защиты, позволяющей учитывать отличия условий сертификационных испытаний от условий их работы при вероятном пожаре в подземном сооружении [3–6].

Расчет толщины огнезащиты выбранного варианта, необходимой для обеспечения требуемого (нормируемого) предела огнестойкости каждого конкретного воздуховода, производится из условия

$$\Pi_\phi \geq \Pi_{mp},$$

где  $\Pi_\phi$  — фактический предел огнестойкости воздуховода с огнезащитой;

$\Pi_{mp}$  — требуемое (нормативное) значение предела огнестойкости.

Дополнительно к признакам предельных состояний воздуховодов при пожаре, сформулированных в НПБ 239-97 [6], применительно к воздуховодам системы дымоудаления тоннелей были введены следующие признаки, которые позволяют конкретизировать и формализовать их с целью использования в разработанной математической модели тепломассопереноса и напряженно-деформированного состояния воздуховодов.

Предельными состояниями воздуховода прямоугольного сечения на участках, нагруженных внешним давлением, являются:

- потеря прочности — превышение максимальным действующим напряжением пре-

- дельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре;
- потеря жесткости — превышение максимальным относительным прогибом стенки\* предельного значения, равного 0,05;
  - уменьшение площади проходного сечения воздуховода вследствие прогиба его стенок до предельного значения  $(F_{\text{нач}} - F_{\text{деф}})/F_{\text{нач}} = 0,05$  ( $F_{\text{нач}}$ ,  $F_{\text{деф}}$  — значения площади проходного сечения воздуховода до и после деформации).

Предельными состояниями воздуховода прямоугольного сечения на участках, нагруженных внутренним давлением, являются:

- потеря прочности — превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре;
- потеря жесткости — превышение максимальным относительным прогибом стенки предельного значения, равного 0,05.

Предельными состояниями воздуховода круглого сечения на участках (секциях), нагруженных внешним давлением, являются:

- потеря прочности — превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре;
- потеря устойчивости — резкое изменение формы при превышении действующей нагрузкой критического уровня, соответствующего данной температуре.

Предельным состоянием воздуховода круглого сечения на участках (секциях), нагруженных внутренним давлением, является потеря прочности — превышение максимальным действующим напряжением предельного значения, равного пределу текучести материала стенки при данной температуре.

Требуемые толщины выбранного средства огнезащиты воздуховода в общем случае определяются взаимосвязанными теплотехническим и статическим расчетами с учетом условия  $\Pi_\phi \geq \Pi_{mp}$ . В результате проведения теплотехнического расчета находятся текущие распределения по длине воздуховода температуры дымовых газов, движущихся внутри него, и температурное поле в стенке воздуховода. В ходе статического расчета определяются перемещения стенок воздуховода и действующие в них напряжения в зависимости от времени.

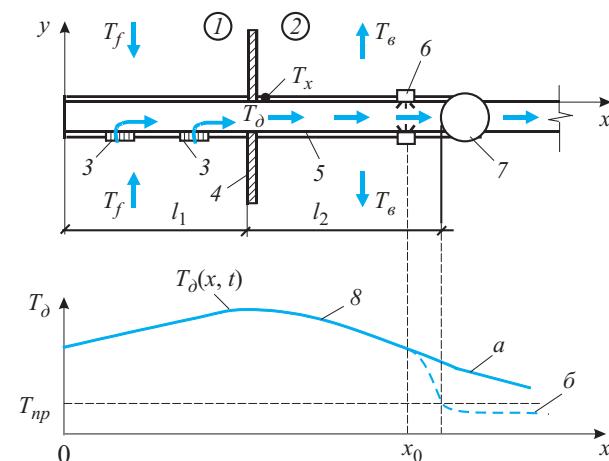
При использовании для определения предела огнестойкости металлических воздуховодов поня-

тия “критическая температура” металла толщина выбранного средства огнезащиты определяется теплотехническим расчетом из условия непревышения температурой стенки воздуховода  $T_w$  критического значения в конце огневого воздействия  $T_{kp}$  в течение времени, равного требуемому пределу огнестойкости:

$$T_w \leq T_{kp}.$$

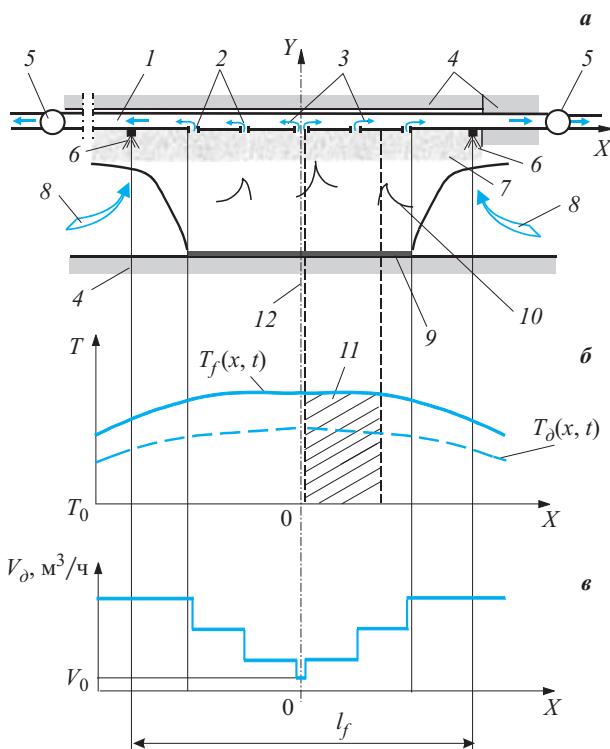
Критическая температура металла рассматриваемого воздуховода определяется по признакам предельных состояний, сформулированным ранее, статическим расчетом при допущении о равномерном распределении в каждый момент времени температуры по толщине стенки воздуховода [4, 5].

Канал дымоудаления в общем случае может состоять из участков, представляющих собой стальные воздуховоды, которые проходят как через аварийное помещение, заполненное высокотемпературной газовой средой, так и через смежные поме-



**Рис. 1.** Обобщенная схема газообмена и теплопередачи в системе противодымной защиты: 1 — аварийное помещение (пожарный отсек), заполненный газовой средой с температурой  $T_f(x, t)$ ; 2 — смежное помещение, заполненное газовой средой (воздухом) с температурой  $T_e$ ; 3 — клапан дымоудаления; 4 — стена (перегородка); 5 — канал дымоудаления, проложенный в воздуховодах с огнезащитой, железобетонных строительных конструкциях и т.п.; 6 — устройства для подачи распыленного охладителя во внутреннюю полость воздуховода (спринклеры или дренчеры); 7 — огнестойкий вентилятор; 8 — характер изменения температуры дымовых газов по длине канала дымоудаления при отсутствии (a) и при наличии (b) подачи охладителя в его внутреннюю полость;  $T_d$  — температура дымовых газов;  $T_x$  — температура наружной поверхности воздуховода в смежном помещении;  $T_{np}$  — предельные значения температуры дымовых газов, критические для вентилятора дымоудаления;  $l_1$  — длина обогреваемого участка воздуховода;  $l_2$  — длина необогреваемого участка (расстояние от входа в вентиляционную камеру до вентилятора)

\* Относительный прогиб стенки воздуховода равен отношению прогиба к ширине стенки.

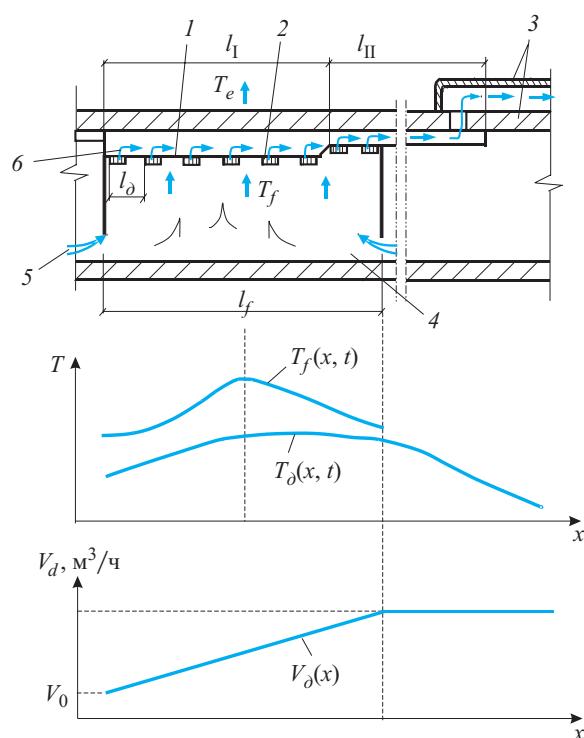


**Рис. 2.** Схема газообмена при пожаре в тоннеле при двухстороннем удалении дыма и распределения по длине дымовой зоны, образованной водяными завесами, температур наружной газовой среды  $T_f$  и дымовых газов  $T_\delta$ , текущих внутри воздуховода, а также расхода дымовых газов  $V_\delta$ : 1 — воздуховод; 2 — отверстия в воздуховоде для забора дымовых газов с клапанами дымоудаления; 3 — поток дымовых газов; 4 — железобетонные конструкции; 5 — вентилятор; 6 — водяные завесы, создаваемые дренчерными установками; 7 — припотолочная струя дыма; 8 — поток атмосферного воздуха; 9 — разлитое горючее; 10 — зона горения; 11 — опасная для работы огнестойкого воздуховода зона; 12 — ось симметрии;  $l_f$  — длина дымовой зоны (условного пожарного отсека)

щения, заполненные воздухом. Он может также прокладываться внутри железобетонных строительных конструкций. Кроме того, на практике встречаются случаи, когда две или три стенки канала выполнены из стали, а остальными его стенками являются железобетонные строительные конструкции. И, наконец, возможны варианты, когда между стальной стенкой канала дымоудаления и железобетонной стеной находится воздушная прослойка.

На наружную поверхность участка воздуховода, расположенного внутри аварийного условного пожарного отсека тоннеля, действует газовая среда, имеющая температуру  $T_f(t)$ . Темплота от газовой среды к наружной поверхности стенок этой части воздуховода передается конвекцией и излучением. Газовая среда является оптически плотной.

Обобщенная схема движения дымовых газов и теплопередачи в системе противодымной защиты



**Рис. 3.** Схема газообмена при пожаре в тоннеле при одностороннем удалении дыма и распределения по длине дымовой зоны, образованной термостойкими шторами, температур наружной газовой среды  $T_f$  и дымовых газов  $T_\delta$ , текущих внутри воздуховода, а также расхода дымовых газов  $V_\delta$ : 1 — стальная стенка венткороба; 2 — отверстие для забора дымовых газов с клапаном дымоудаления; 3 — участок канала в железобетонных конструкциях; 4 — дымовая зона (условный пожарный отсек); 5 — поток атмосферного воздуха; 6 — поток дымовых газов;  $V_\delta$  — расход дымовых газов;  $T_e$  — температура окружающей среды;  $l_\delta$  — расстояние между клапанами дымоудаления;  $l_I$  и  $l_{II}$  — участки воздуховода дымоудаления различного сечения

представлена на рис. 1. Можно видеть, что газовая среда аварийного помещения, имеющая температуру  $T_f$ , поступает во внутреннюю полость воздуховода дымоудаления через клапаны дымоудаления 3, при этом ее температура несколько понижается.

В тех случаях, когда горячие газы из пожарного отсека поступают во внутреннюю полость воздуховода через несколько клапанов дымоудаления, массовая скорость движения дыма внутри воздуховода увеличивается по его длине (рис. 2, 3).

Дымовые газы движутся внутри канала дымоудаления 5 в сторону вентилятора 7, обмениваясь теплотой с его стенками. Направление теплового потока через стенку зависит от соотношения температур внутреннего и наружного газов. Так, на участке, расположенном в смежном помещении 2, тепловой поток направлен наружу, вследствие чего дымовые газы охлаждаются. Причем интенсив-

ность их охлаждения зависит от теплоизолирующей способности стенки воздуховода (в частности, от толщины слоя огнезащитного покрытия), а степень охлаждения на участке от входа в помещение 2 до вентилятора — от его длины  $l_2$ .

Требуемая толщина огнезащиты воздуховода на участке длиной  $l_2$  определяется из условия повышения температуры его наружной поверхности не более чем на  $190^{\circ}\text{C}$  за время, равное требуемому пределу огнестойкости системы противодымной защиты. Следовательно, чем выше температура дымовых газов на входе в помещение 2, тем больше толщина огнезащиты и тем меньше охлаждаются дымовые газы на участке длиной  $l_2$ . Длина этого участка определяется, в основном, объемно-планировочными решениями конкретного сооружения, возможность ее произвольного изменения крайне ограничена.

Таким образом, принципиально возможны случаи, когда температура дымовых газов на входе в

вентилятор превышает критическое значение. В этих ситуациях возникает необходимость в активной теплозащите вентилятора дымоудаления.

Для математического описания процессов тепломассопереноса в рассматриваемой системе в общем случае может быть использована известная система дифференциальных уравнений: неразрывности, движения газовой среды, диффузии компонентов газовой смеси, заполняющей внутреннюю полость канала дымоудаления (воздуховодов) и аварийного помещения, сохранения энергии и нестационарной теплопроводности в стенах канала (воздуховодов) и ограждающих конструкций. Для замыкания этой системы к ней необходимо добавлять соответствующие условия однозначности, уравнения для определения параметров турбулентного переноса (модель турбулентности) и интегрально-дифференциальные уравнения лучистого переноса в газовой среде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. НПБ 239–97. Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. — М.: ВНИИПО МВД России, 1997. — 15 с.
2. Давыдкин Н. Ф., Страхов В. Л., Мешалкин Е. А., Солнцев Н. Д. Пожарная опасность городских автотранспортных тоннелей и комплексная система их противопожарной защиты // Подземное пространство мира. — М.: ТИМР, 2003. — № 5. — С. 43–47.
3. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
4. Страхов В. Л., Давыдкин Н. Ф., Гаращенко А. Н., Крутов А. М., Рудзинский В. П., Девлишев П. П. Расчет огнестойкости воздухо- и газоводов с композиционным теплоогнезащитным покрытием // Пожаровзрывобезопасность. — 1998. — Т. 7, № 4. — С. 53–64.
5. Давыдкин Н. Ф., Страхов В. Л., Каледин Вл. О., Солнцев Н. Д. Расчет огнезащиты венткороба дымоудаления Лефортовского тоннеля глубокого заложения // Подземное пространство мира. — М.: ТИМР, 2004. — № 1. — С. 40–45.
6. Солнцев Н. Д. Расчет пределов огнестойкости и требуемых толщин огнезащиты покрытий воздуховодов системы дымоудаления тоннелей // Системы безопасности–2005: Материалы четырнадцатой научно-технической конференции. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. — С. 216–220.

Поступила в редакцию 14.03.07.



Д-р техн. наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Университет гражданской защиты  
Украины  
**Ю. А. Абрамов**



Канд. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Университет гражданской защиты  
Украины  
**А. Е. Басманов**

УДК 614.8

## НАГРЕВ РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЕПРОДУКТОМ ПОД ТЕПЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРА

Построена математическая модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием горящего соседнего резервуара. Особенностью модели является учет охлаждения резервуара струями воды. Модель может быть использована для оценки угрозы каскадного распространения пожара в резервуарных парках, предельно допустимого времени ввода сил и средств для охлаждения нагревающегося резервуара, достаточности охлаждения.

### Постановка проблемы

Резервуарные парки являются основным местом хранения нефти и нефтепродуктов в процессе их переработки и транспортировки. Большое скопление легковоспламеняющихся жидкостей на относительно небольшой площади приводит к высокой пожарной опасности. Пожары в резервуарных парках особенно опасны угрозой каскадного распространения, что может привести как к человеческим жертвам, так и к значительному материальному ущербу.

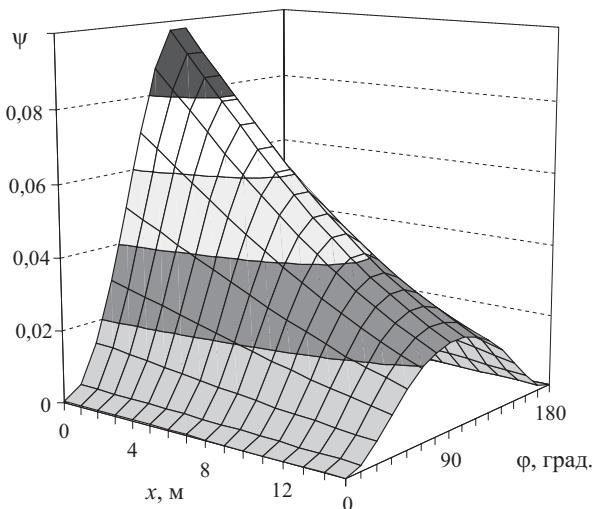
Несмотря на принимаемые меры, количество пожаров за последние 30 лет остается практически неизменным. В среднем в резервуарных парках на территории СНГ происходит около 12 крупных пожаров в год. При этом каждый четвертый пожар носят затяжной характер и заканчивается полным выгоранием нефтепродуктов. Это свидетельствует как о недостаточности сил и средств или неэффективности их использования, так и о неполном учете различных факторов, влияющих на развитие пожара.

Целью данной работы является оценка времени достижения резервуаром с нефтепродуктом критических температур при тепловом воздействии соседнего горящего резервуара путем построения математической модели детерминированного типа.

### Анализ публикаций

Форма факела над горящим резервуаром и тепловой поток от него проанализированы в работах [2, 3]. В публикации [5] построена модель воздействия теплового потока на цистерну автомобиля с

нефтепродуктом. При этом поверхность цистерны была условно разделена на 4 зоны: сухая стенка, обращенная к пожару и в противоположную сторону, смоченная стенка, обращенная к пожару и в противоположную сторону. В случае горения вертикального стального резервуара (РВС) тепловой поток от пожара к соседнему резервуару будет распределен неравномерно по его поверхности (рис. 1), следовательно неравномерным будет и распределение температуры.



**Рис. 1.** Распределение коэффициента взаимной облученности  $\psi$  по стенке резервуара РВС-10000, обращенной в сторону факела, в зависимости от расстояния  $x$  до верхнего края резервуара и угла  $\phi$ , отложенного вдоль периметра резервуара

## Постановка задачи

Найдем распределение температур по сухой стенке и крыше вертикального стального резервуара с нефтепродуктом, нагревающегося от соседнего горящего резервуара. При построении математической модели будем исходить из следующих предположений.

1. Передача тепла от пламени к резервуару осуществляется излучением по закону Стефана-Больцмана.

2. Нагревающаяся сухая стенка и крыша отдают тепло излучением в окружающую среду и внутрь резервуара. Поверхность нефтепродукта и задняя стенка резервуара (с обратной стороны от факела) также получают и отдают тепло излучением.

3. Стенка и крыша резервуара участвуют в конвективном теплообмене с окружающим воздухом.

4. Сухая стенка, крыша, поверхность нефтепродукта участвуют в конвективном теплообмене с паровоздушной смесью внутри резервуара.

5. Физические характеристики паровоздушной смеси (в том числе температура и концентрация паров нефтепродукта) одинаковы по всему объему.

6. Концентрация паров нефтепродукта в газовом пространстве резервуара определяется испарением с поверхности нефтепродукта. Потери паров через дыхательные клапаны малы.

7. Смоченная стенка участвует в конвективном теплообмене с нефтепродуктом. Тепло, передаваемое от стенки в нефтепродукт, не влияет на его температуру.

8. Теплопроводность стенки и крыши не влияет на распределение температур в них.

9. Теплопроводность нефтепродукта не влияет на распределение температур в поверхностном слое.

10. Прогрев нефтепродукта от поверхностного слоя в глубину осуществляется за счет теплопроводности.

11. Стенка и крыша резервуара равномерно прогреваются по всей толщине.

12. Излучающая поверхность факела имеет одинаковую и постоянную во времени температуру.

Обоснуем сделанные предположения. Предположение (1) основывается на расчетах [1], показывающих, что тепло, передаваемое от факела за счет теплопроводности воздуха, на несколько порядков меньше тепла, передаваемого излучением. Конвективный перенос также не оказывает существенного влияния, поскольку продукты горения и разогретый воздух устремляются вверх. Предположения (2) и (4) связаны с тем, что различные части резервуара (стены, крыша, поверхность нефтепродукта) участвуют в теплообмене друг с другом и с газовой смесью внутри резервуара. Кроме того, стены и крыша участвуют в теплообмене с воздухом.

Нагрев нефтепродукта от смоченной стенки приводит к возникновению конвективных потоков вблизи нее, выравнивающих температуру нефтепродукта. Ввиду большого диаметра резервуара количество тепла, передаваемое в нефтепродукт, не способно существенно изменить его температуру [1]. Таким образом, можно полагать, что нагрев смоченной стенки не оказывает существенного влияния на температуру нефтепродукта (7).

Допущение (5) основывается на экспериментальных данных [3], демонстрирующих, что уже в первые минуты после начала пожара конвективные потоки, возникающие у нагревающейся стенки, перемешивают паровоздушную смесь так, что она является практически однородной по всему объему. Наибольшие потери паров нефтепродукта через дыхательные клапаны происходят при закачке нефтепродукта в резервуар. В других циклах его работы потери определяются диффузией паров в воздухе. Поскольку размеры клапанов малы по сравнению с площадью поверхности нефтепродукта, то пренебрегаем потерями через клапан и рассматриваем испарение нефтепродукта в замкнутый объем (допущение (6)).

Предположение (8) основывается на эксперименте [3], в котором было получено, что для стальной стенки толщиной 5 мм участки, находящиеся на расстоянии 30 см, практически являются теплозолированными. Поскольку теплопроводность нефтепродуктов меньше теплопроводности стали и горизонтальное перемешивание в поверхностном слое отсутствует, то предположение (9) является естественным продолжением (8). Так как нагрев нефтепродукта происходит сверху вниз, то конвективные потоки не возникают, передача тепла осуществляется, в основном, теплопроводностью (10). Предположение (11) связано с малой толщиной стенки резервуара (до 5 мм).

Модель применима к стальному вертикальному резервуару со стационарной крышей с pontonом или без него. Для определенности будем говорить о поверхности нефтепродукта без pontона, однако все рассуждения остаются в силе и для резервуаров с pontоном. С позиций построенной модели применение pontона приводит к изменению степени черноты поверхности нефтепродукта, ее теплоемкости и теплопроводности.

## Математическая модель нагрева резервуара

Пусть обогреваемый резервуар находится на расстоянии  $L$  от горящего. Выберем начало координат в центре основания негорящего резервуара (рис. 2). Под действием излучения факела стена, обращенная к нему, нагревается неравномерно —

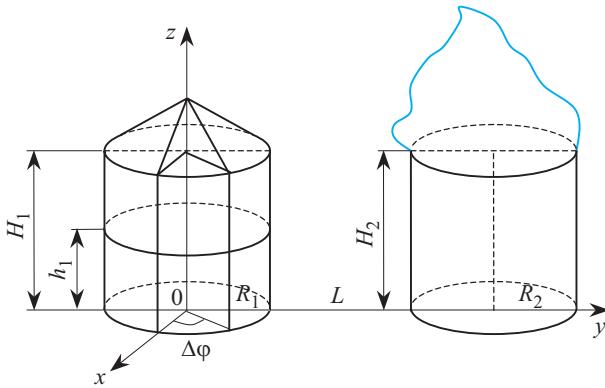


Рис. 2. Разбиение нагреваемого резервуара на сегменты

фронтальная часть (ближе к факелу) нагревается сильнее. Вызвано это вариациями коэффициента взаимного облучения по стенке (см. рис. 1). Неравномерно будет нагреваться и крыша резервуара.

Чтобы учесть неравномерный нагрев, условно разделим резервуар на  $n$  сегментов вертикальными секущими плоскостями, проходящими через ось  $0y$  так, чтобы они образовывали углы с осью  $0x$ , равные  $0, \Delta\phi, 2\Delta\phi, \dots$ . В этом случае боковая поверхность окажется разбитой на  $n$  вертикальных полос с шагом  $\Delta\phi$ , поверхность нефтепродукта и крыша резервуара — на сектора с тем же шагом  $\Delta\phi$  (см. рис. 2). Поскольку диаметр резервуара велик, то отдельный сектор крыши может нагреваться неравномерно. Особенно неравномерным будет нагрев секторов со стороны факела. Поэтому дополнительно разобьем крышу резервуара и поверхность нефтепродукта на  $m_1$  колец равной толщины  $\Delta r = R/m_1$ . Полоса стены резервуара также нагревается неравномерно: при горении соседнего резервуара значительно сильнее будет нагреваться верхняя часть стены. Для учета этой неравномерности разобьем каждую полосу горизонтальными секущими плоскостями на  $m_2$  частей с одинаковой высотой  $\Delta h = (H_1 - h_1)/m_2$ . Это дает  $N_1 = n(m_1 + m_2)$  областей, на которые разделена поверхность резервуара, и  $N_2 = nm_1$  областей, на которые разделена поверхность нефтепродукта.

Будем предполагать, что в каждой из  $N = N_1 + N_2$  областей температура остается постоянной. Каждая из областей участвует в теплообмене излучением и конвекцией. Тогда уравнение баланса энергии для стальной поверхности резервуара (сухой стенки и крыши) примет вид:

$$\frac{dT_k}{dt} = \frac{\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[ \varepsilon_\phi H_k^+ \left( \left\{ \frac{T_\phi}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{T_k}{100} \right\}^4 \right) + \sum_{i=1}^{N_1+N_2} \varepsilon_i H_{ik} \left( \left\{ \frac{T_i}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{T_k}{100} \right\}^4 \right) + \right]$$

$$+ \left( \left\{ \frac{T_0}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{T_k}{100} \right\}^4 \right) (S_k - H_k^+) \right] + \frac{\alpha_e (T_e - T_k)}{\delta \rho_c c_c} + \frac{\alpha_s (T_0 - T_k)}{\delta \rho_c c_c}, \quad k = 1, 2, \dots, N_1, \quad (1)$$

где  $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

$\varepsilon_c, \delta$  — степень черноты и толщина стенки резервуара соответственно;

$\rho_c, c_c$  — плотность и теплоемкость стали;

$S_k, T_k$  — площадь поверхности и температура области  $k$ ;

$\varepsilon_\phi, T_\phi$  — степень черноты и температура факела;  $H_k^+$  — площадь взаимного облучения между областью  $k$  и факелом;

$H_{ik}$  — площадь взаимного облучения между областями  $i$  и  $k$ ;

$\varepsilon_i$  — степень черноты области  $i$  (степень черноты поверхности нефтепродукта или стальной поверхности);

$T_0, T_e$  — температуры окружающей среды и паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара соответственно;

$\alpha_e, \alpha_s$  — коэффициенты конвективной теплоотдачи в окружающий воздух и паровоздушную смесь.

Паровоздушная смесь нагревается за счет конвективного теплообмена со стенками, крышей резервуара и поверхностью нефтепродукта:

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{\alpha_e}{V_e \rho_e c_p} \sum_{k=1}^{N_1+N_2} (T_k - T_e) S_k, \quad (2)$$

где  $V_e$  — объем газового пространства;

$\rho_e, c_p$  — плотность и теплоемкость паровоздушной смеси при постоянном давлении соответственно.

Тепловой поток к поверхности нефтепродукта обусловлен излучением от стенок и крыши резервуара, а также конвективным теплообменом с паровоздушной смесью:

$$\frac{dQ_k}{dt} = c_0 \varepsilon_h \varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1} H_{ik} \left( \left\{ \frac{T_i}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{T_k}{100} \right\}^4 \right) + \alpha_e (T_e - T_k) S_k, \quad k = N_1 + 1, \dots, N, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_h$  — степень черноты поверхности нефтепродукта.

Будем рассматривать прогрев нефтепродукта в глубину как нагрев полубесконечного стержня. Ввиду большого диаметра резервуара теплообмен на его стенках не будет оказывать существенного

влияния на тепловые процессы в толще нефтепродукта [3]. Математическая модель имеет вид:

$$\frac{\partial T_k}{\partial t} = \frac{\lambda_n}{c_n \rho_n} \frac{\partial^2 T_k}{\partial x^2}, \quad t > 0, \quad 0 < x < \infty,$$

$$\left. \frac{\partial T_k}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{1}{\lambda_n S_k} \frac{dQ_k}{dt}, \quad T_k|_{t=0} = T_0,$$

где  $\lambda_n$ ,  $c_n$ ,  $\rho_n$  — теплопроводность, теплоемкость и плотность нефтепродукта;

$T_0$  — начальная температура нефтепродукта.

В этом случае температура поверхностного слоя будет описываться соотношением [7]:

$$T_k(t) = T_0 + \frac{\sqrt{a}}{\lambda_n \sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{q_k(\theta)}{\sqrt{t-\theta}} d\theta,$$

$$k = N_1 + 1, \dots, N, \quad (4)$$

где  $q_k = \frac{1}{S_k} \frac{dQ_k}{dt}$  — плотность теплового потока,

определенная из уравнения (3);

$a = \lambda_n / c_n \rho_n$  — коэффициент температуропроводности.

Совместное решение системы дифференциальных уравнений (1)–(4) позволяет найти распределение температур по резервуару в произвольный момент времени. Входящий в эти уравнения коэффициент конвективной теплоотдачи  $\alpha$  может быть найден с использованием теории подобия [8]. Пренебрегая кривизной стенки резервуара, будем рассматривать ее тепловое взаимодействие с окружающим воздухом и паровоздушной смесью в качестве плоской вертикальной стенки. Тогда при отсутствии ветра коэффициент конвективной теплоотдачи будет составлять:

$$\alpha = 0,135 \lambda \left( \frac{\Delta T g \Pr}{T v^2} \right)^{1/3},$$

где  $\lambda$ ,  $v$  — теплопроводность и вязкость среды (воздуха или паровоздушной смеси) при температуре  $T$  — средней между температурами среды и поверхности;

$\Delta T$  — разница между температурами среды и поверхности;

$\Pr$  — число Прандтля;

$g$  — ускорение свободного падения.

Для определения коэффициента конвективной теплоотдачи горизонтальной поверхности в холодную среду над поверхностью или в горячую среду под поверхностью последнее выражение необходимо увеличить на 30%, в противоположном случае — уменьшить на 30% [8].

В качестве примера рассмотрим нагрев резервуара РВС-10000 (диаметром 28,5 м и высотой 18 м), заполненного нефтью до уровня 12 м. Коэффи-

циент черноты стальных стенок примем  $\varepsilon = 0,8$ , коэффициент черноты нефтепродукта  $\varepsilon_n = 0,5$ . На расстоянии  $L = 21$  м расположен горящий резервуар РВС-10000, имеющий пламя в форме конуса высотой  $1,2D$ , средней температурой  $1100^\circ\text{C}$  и коэффициентом черноты  $\varepsilon_\phi = 0,85$ . Коэффициент вязкости паровоздушной смеси  $v = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ . Начальную температуру и температуру окружающей среды будем считать равными  $20^\circ\text{C}$ .

Ниже показаны разбиение на области поверхности резервуара, обращенной в сторону горящего резервуара (рис. 3), и динамика изменения температуры этих областей (рис. 4). Рис. 5 иллюстрирует распределение температур по поверхности резервуара, он демонстрирует неравномерность нагрева стенки (различие между температурами областей 1 и 3 одного сегмента (см. рис. 3) составляет около 15%) и неоднородность нагрева крыши (различие между температурами областей 4 и 6 одного сегмента составляет около 60%).

Поверхность нефтепродукта нагревается незначительно (см. рис. 4): ее температура повышается с

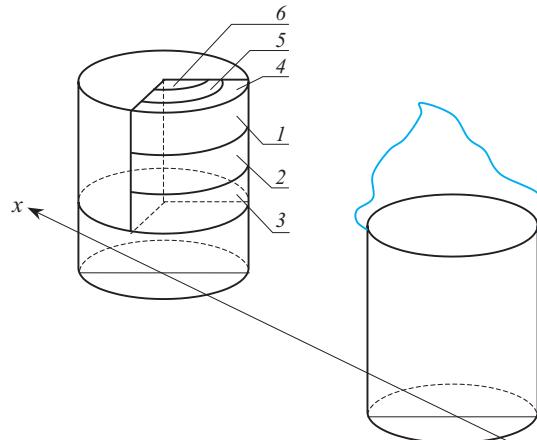


Рис. 3. Разбиение поверхности нагревающегося резервуара на области: 1–3 — сухая стена; 4–6 — крыша

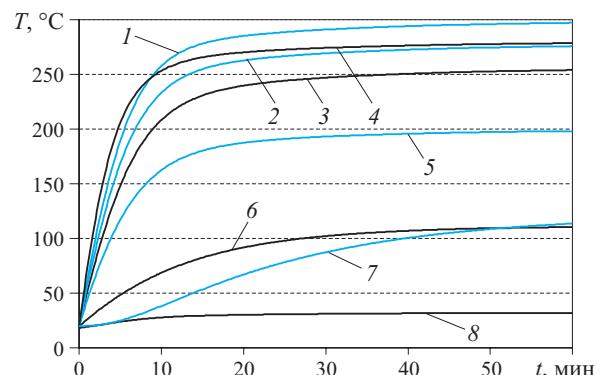


Рис. 4. Динамика изменения температуры части резервуара с нефтепродуктом, обращенной в сторону пожара (см. рис. 3): 1–3 — сухая стена; 4–6 — крыша; 7 — паровоздушная смесь; 8 — поверхность нефтепродукта

20 до 30°C. Это говорит о малом тепловом потоке, приходящимся на поверхность нефтепродукта от нагревшейся сухой стены и крыши резервуара. Отмеченное означает также, что свойства нефтепродукта (степень черноты поверхности, плотность, теплоемкость, теплопроводность) не оказывают заметного влияния на процессы нагрева сухой стенки и крыши резервуара. Расчеты показывают, что для наиболее сильно нагревающейся части резервуара различие между температурами не превосходит 0,2%. В то же время различие плотностей и теплопроводностей для бензина, нефти, мазута составляет около 20%, а теплоемкостей — около 10% [8].

Моделирование нагрева РВС с понтоном сводится к замене степени черноты поверхности нефтепродукта на степень черноты стали и учету передачи от понтона в нефтепродукт. Но принимая во внимание отмеченное выше малое влияние свойств поверхности нефтепродукта на тепловые процессы в резервуаре, такая замена не отразится на распределении температур и динамике их изменения.

Увеличение количества областей разбиения, с одной стороны, повышает точность модели, с другой, увеличивает объем вычислений. Рассмотрим, как влияет число сегментов  $n$  на получаемое распределение температур. При этом не будем пока разбивать стену горизонтальными плоскостями ( $m_2 = 1$ ) и крышу на кольца ( $m_1 = 1$ ). Пусть горит резервуар РВС-10000 (радиусом  $R_2 = 17,1$  м, высотой  $H_2 = 11,92$  м), содержащий бензин. На расстоянии  $L = 30$  м от него находится резервуар того же типа (см. рис. 2), заполненный бензином до уровня 6 м. Будем полагать, что факел имеет форму конуса с высотой  $2,8R_2$  и среднюю температуру пламени 1200°C. На рис. 6 показано влияние количества сегментов, на которые поделен резервуар вертикальными секущими плоскостями, на получаемое распределение температур.

Рассмотрение равномерного нагрева стенки со стороны факела приводит к ошибке около 50%. В частности, может показаться, что температура резервуара лишь немногим превосходит 200°C, в то время как может быть достигнута температура 300°C. Аналогичная ситуация имеет место и для крыши резервуара. Здесь игнорирование неравномерного нагрева приводит к ошибке около 20%.

Таким образом, разбиение резервуара на отдельные области до полутора раз повышает точность прогноза температуры.

Сравнение различных видов теплопередачи при рассмотрении тепловых процессов в резервуаре [1] показывает, что конвективная теплопередача составляет 50–70% от теплопередачи излучением, поэтому соответствующим слагаемым в уравнении (1) пренебречь нельзя. Тепловые потоки в стальной

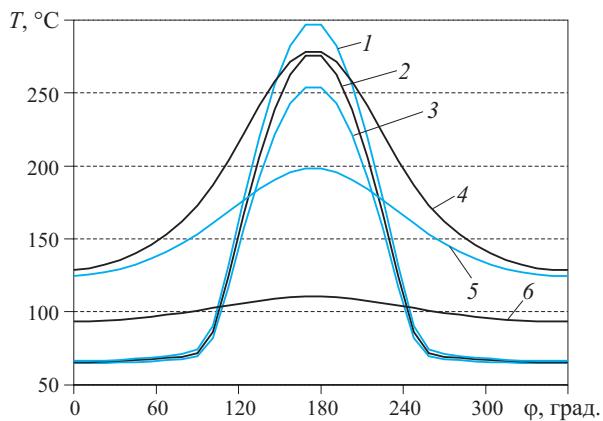


Рис. 5. Распределение температуры по поверхности резервуара через 60 мин: 1–3 — сухая стена (см. рис. 3); 4–6 — крыша

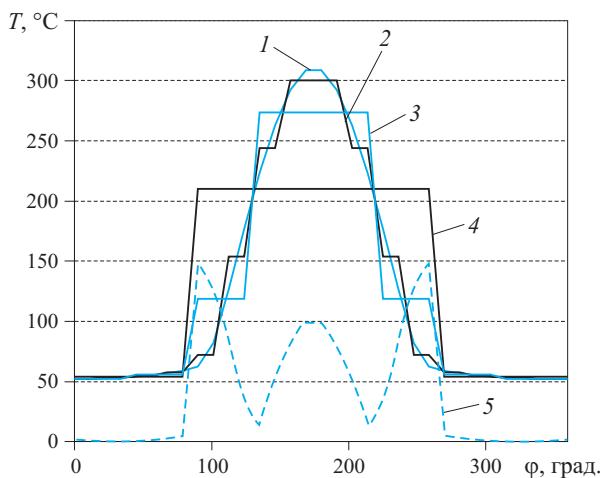


Рис. 6. Зависимость температуры стенки резервуара от угла для различного числа сегментов разбиения  $n$ : 1 —  $n = 32$ ; 2 —  $n = 16$ ; 3 —  $n = 8$ ; 4 —  $n = 4$ ; 5 — абсолютная погрешность, возникающая при переходе  $n$  от 32 к 4

стенке, вызванные неравномерным ее нагревом, на 3 порядка меньше тепловых потоков излучением. Максимальное значение достигается на границе областей, облучаемых и не облучаемых факелом.

#### Охлаждение резервуара струями воды

Первоочередной задачей пожарных подразделений является охлаждение горящих и соседних с ними резервуаров. Охлаждение производится компактными струями воды, подаваемыми обычно из лафетных стволов. С точки зрения построенной модели (1)–(4) наличие охлаждения водой сводится к изменению коэффициента конвективной теплоотдачи в окружающую среду в местах контакта стенки с водой. Таким образом, построение модели охлаждения резервуара струями воды требует оценки коэффициента конвективной теплоотдачи от стенки резервуара в воду.

При построении модели будем исходить из следующих предположений.

1. При охлаждении стенки из ствола часть воды отскакивает, не оказывая влияния на охлаждение, другая стекает вниз, образуя пленку.

2. Стекание пленки происходит под действием силы гравитации. Влияние начальной скорости пренебрежимо мало.

3. При достижении пленкой температуры кипения воды процесс кипения носит пузырьковый характер.

Допущение (1) связано с тем, что стекающая вода образует достаточно тонкую пленку (порядка 0,5 см). Мы пренебрегаем влиянием скорости струи в момент удара на процесс стекания пленки, поскольку струя ударяется о стенку резервуара перпендикулярно или несколько направлено вверх. Начальная скорость воды быстро гасится силами трения; об этом можно судить по ширине полосы стекания — порядка 1 м. Такое расстояние преодолевает водная пленка под действием начального импульса. Исследования гравитационно стекающих пленок [6] указывают на существенное отличие процессов теплопередачи по сравнению с большими объемами жидкости. Непосредственное наблюдение за кипением стекающей по стенке воды говорит о пузырьковом характере кипения. Пленочного кипения, при котором возникает тонкая прослойка пара, отбрасывающая пленку, здесь не возникает. Это связано с достаточно большой интенсивностью как охлаждения из ствола, так и перемешивания внутри пленки. На сказанном и основывается допущение (3).

Учитывая, что диаметр резервуара много больше диаметра струи, будем пренебрегать кривизной боковой поверхности резервуара, рассматривая падение струи на плоскую стенку. После удара о стенку вода несколько расходится в стороны и затем стекает вниз. Будем приближенно полагать, что при этом она образует полосу шириной  $a_{0x}$ . Оценим коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  от стенки в стекающую по ней водяную пленку. Число Рейнольдса для пленки определяется выражением [6]:

$$Re = G/\mu,$$

где  $G$  — массовый расход жидкости на единице толщины пленки с расчетной толщиной  $\delta$ ,  $G = \rho \bar{w} \delta$ ;  $\rho$  — плотность воды;

$w$  — средняя скорость потока;

$\mu$  — динамическая вязкость воды, Па·с.

Массовый расход представим в виде:

$$G = V_s k_s \rho / a_{0x},$$

где  $V_s$  — расход воды стволом,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $k_s$  — коэффициент эффективности использования воды, показыва-

ющий какая часть воды, вышедшей из ствола, идет на образование пленки; другая часть воды отражается от стенки после удара. Тогда число Рейнольдса может быть вычислено только через расход воды через ствол и ширину стекающей пленки:

$$Re = \frac{V_s k_s \rho}{a_{0x} \mu} = \frac{V_s k_s}{a_{0x} v}, \quad (5)$$

где  $v$  — кинематическая вязкость воды,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Подстановка числовых значений в уравнение (5) дает  $Re \approx 2100$  для лафетного и  $Re \approx 9000$  для ствола А. Такое значение числа Рейнольдса соответствует развитому турбулентному режиму течения пленки [6]. Визуальные наблюдения подтверждают этот вывод: поверхность пленки возмущена нерегулярными волнами. Следуя выводам работы [6], оценим толщину пленки  $\delta$ :

$$\tilde{\delta} = \sqrt[3]{\frac{c_f Re^2}{2(1 - \rho''/\rho)}},$$

где  $\tilde{\delta}$  — безразмерная толщина пленки,

$$\tilde{\delta} = \delta \left( \frac{g}{v^2} \right)^{1/3};$$

$c_f$  — коэффициент трения пленки о твердую стенку;

$\rho''$  — плотность воздуха.

Пренебрегая плотностью воздуха по сравнению с плотностью воды и используя соотношение для коэффициента трения турбулентного потока  $c_f = 0,0582 Re^{-0.2}$ , получим

$$\delta = 0,3076 \left( \frac{v^2}{g} \right)^{1/3} Re^{0.6}. \quad (6)$$

Подставляя числовые значения в уравнение (6), получим среднюю толщину стекающей пленки  $\delta \approx 3-5$  мм. При этом средняя скорость потока составит

$$\bar{w} = \frac{G}{\rho \delta} = \frac{V_s k_s}{a_{0x} \delta},$$

что дает  $\bar{w} \approx 3$  м/с. Знание толщины пленки позволяет вычислить коэффициент теплоотдачи. Для турбулентного потока имеет место уравнение [6]:

$$\frac{\alpha \bar{w}}{\lambda \bar{w}} = \frac{c_f}{2} f(\Pr, Re),$$

где  $\Pr = vc_p \rho / \lambda$  — число Прандтля;

$c_p$  — теплоемкость воды.

Опыт показывает [6], что при  $\Pr > 0,6$  функциональная зависимость  $f(\Pr, Re)$  имеет вид:  $f(\Pr, Re) =$

$= \text{Pr}^{0,4}$ . Поскольку для воды  $\text{Pr} \approx 6$ , то после преобразований получим:

$$\alpha = \lambda \left( \frac{c_f}{2} \right)^{2/3} \text{Pr}^{0,4} \text{Re}^{1/3} \left( \frac{g}{v^2} \right)^{1/3} = \\ = 0,0946 \lambda \left( \frac{g}{v^2} \right)^{1/3} \text{Re}^{0,2} \text{Pr}^{0,4}. \quad (7)$$

После того, как стекающая вода нагреется до температуры кипения, все подводимое тепло идет только на испарение с поверхности. Следуя [4], введем безразмерную толщину пленки:

$$\eta_m = \sqrt{\delta^3 g / v},$$

где  $\delta$  — средняя толщина пленки. Безразмерная толщина пленки определяет режим ее течения: волновой ( $5 < \eta_m < 30$ ) или турбулентный ( $\eta_m > 30$ ). При турбулентном режиме безразмерная толщина находится из уравнения [4]:

$$G/v\mu + 64 = 3\eta_m + 2,5\eta_m \ln \eta_m.$$

В частности, при охлаждении стенки лафетным стволом или стволов А безразмерная толщина охлаждающей пленки  $h$  составит соответственно 2500 и 1200. Обозначим  $\text{Nu}^*$  — модифицированный критерий Нуссельта:

$$\text{Nu}^* = \frac{\alpha}{\lambda} \left( \frac{v^2}{g} \right)^{1/3}.$$

Тогда при турбулентном режиме течения пленки  $\text{Nu}^*$  выражается через безразмерную толщину и число Прандтля [4]:

$$\text{Nu}^* = [\text{Pr} \eta_m^{1/3}] \cdot [5\text{Pr} + 5 \ln(1 + 5\text{Pr}) + \\ + 2,5 \ln(1 - \text{Pr} + 0,4\text{Pr} \eta_m) - 2,5 \ln(1 + 11\text{Pr})]^{-1},$$

а коэффициент конвективной теплоотдачи от стенки в пленку составит:

$$\alpha = \lambda \left( \frac{g}{v^2} \right)^{1/3} [\text{Pr} \eta_m^{1/3}] \cdot [5\text{Pr} + 5 \ln(1 + 5\text{Pr}) + \\ + 2,5 \ln(1 - \text{Pr} + 0,4\text{Pr} \eta_m) - 2,5 \ln(1 + 11\text{Pr})]^{-1}. \quad (8)$$

Таким образом, подстановка коэффициентов конвективной теплоотдачи (7)–(8) в систему уравнений (1)–(4) позволяет учесть охлаждение резервуара струями воды.

## Выводы

Построена математическая модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием пожара, особенностями которой являются разбиение резервуара на отдельные области и учет конвективного и лучистого теплообмена каждой области друг с другом, факелом и окружающим пространством. Построенная модель более точно описывает процесс нагрева резервуара благодаря учету неравномерного нагрева различных его частей. Показано, что применение моделей, предполагающих равномерно нагретую стенку и крышу, обращенные в сторону пожара, приводит к относительной ошибке до 50%. Разработанная модель позволяет определить предельное время начала охлаждения резервуара, нагревающегося под действием пожара.

Разработанные методы расчета охлаждающего действия водной струи основываются на теории теплоотдачи в жидкостную пленку, гравитационно стекающую по вертикальной поверхности. Построенная модель позволяет решить задачу о необходимой интенсивности подачи воды на охлаждение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. — Харьков: АГЗУ, 2006. — 256 с.
2. Андриенко В. Н., Говаленков С. В., Созник А. П., Басманов А. Е. Зависимость теплового излучения факела от его формы // Вестник международного славянского университета. — Харьков: Яна, 2004. — Т. 7. — № 2. — С. 55–60.
3. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. — М.: Недра, 1984. — 151 с.
4. Воронцов Е. Г., Тананайко Ю. М. Теплообмен в жидкостных пленках. — Киев: Техника, 1972. — 194 с.
5. Исхаков Х. И., Хабибулин Р. Ш. Оценка воздействия тепловых потоков пожара на цистерну автомобиля для транспортирования нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 1. — С. 75–80.
6. Кутателадзе С. С., Стырикович М. А. Гидродинамика газожидкостных систем. — М.: Энергия, 1976. — 296 с.
7. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967. — 599 с.
8. Теплотехника / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др.; под ред. В. Н. Луканина. — М.: Высшая школа, 2002. — 671 с.

Поступила в редакцию 28.03.07.



Д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры "Инженерной теплофизики и гидравлики" Академии ГПС МЧС РФ

**С. В. Пузач**



Адъюнкт кафедры "Инженерной теплофизики и гидравлики" Академии ГПС МЧС РФ

**Р. П. Горностаев**

УДК 536.25:614.841

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ПРИ МГНОВЕННОМ ВСКРЫТИИ ПРОЕМА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ПОЖАРЕ

Представлены и обсуждены результаты численного моделирования параметров тепломассообмена в случае мгновенного вскрытия проема в помещении при пожаре с использованием полевой модели расчета термогазодинамики пожара. Рассмотрены особенности термогазодинамической картины с наружной стороны проема. Предложена формула для уточнения коэффициента массового расхода истечения газовой смеси продуктов через проем при одномерном "квазистационарном" подходе.

**М**гновенное вскрытие проема в помещении при пожаре приводит к выбросу горячей задымленной смеси воздуха, продуктов горения и газификации горючего материала наружу, что является одной из распространенных причин гибели и травматизма пожарных.

Использование современных стеклопакетов и дверей с уплотнителями вызывает существенное повышение давления и температуры при пожаре в помещении. При вскрытии проема под действием повышенного перепада давления образуется нестационарная неизотермическая струя. Определение характеристик тепломассообмена в такой струе даже без учета догорания несгоревших продуктов газификации горючего вещества является сложной задачей.

Для нахождения дальности выброса струи и ее температуры необходимо знание величин расходов газов через вскрывшийся проем.

Так как термогазодинамическая картина течения является существенно трехмерной и нестационарной, то простой инженерный подход с использованием уравнений одномерной газовой динамики по истечению из неограниченной емкости [1] требует уточнения.

Отсутствие экспериментальной информации делает актуальной задачу численного моделирования рассматриваемого процесса. Необходим нестационарный трехмерный подход, позволяющий учесть основные особенности термогазодинамики и уточнить коэффициент расхода при использовании одномерного "квазистационарного" метода расчета.

### Полевая модель расчета тепломассообмена при пожаре

Полевой метод расчета является дальнейшим развитием математической модели [2, 3]. Решаются трехмерные нестационарные дифференциальные уравнения Рейнольдса [1].

Обобщенное дифференциальное уравнение имеет вид [4]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \Phi) + \operatorname{div}(\rho w \Phi) = \operatorname{div}(\Gamma \operatorname{grad} \Phi) + S, \quad (1)$$

где  $\Phi$  — зависимая переменная (энталпия смеси, проекции скорости на координатные оси и концентрации компонентов газовой смеси ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$ ), оптическая плотность дыма, кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации);

$\Gamma$  — коэффициент диффузии для  $\Phi$ ;

$S$  — источниковый член.

Лучистый теплоперенос определяется методом моментов (диффузационная модель) [5]. Радиационная составляющая источникового члена в уравнении энергии равна:

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

где  $I$  — интенсивность излучения, определяемая из решения следующего уравнения [5]:

$$\frac{1}{\beta} \left( \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right) = 3\chi(I - I_0). \quad (3)$$

Локальные значения коэффициентов излучения и поглощения радиационной энергии определяются с помощью локальных величин оптической плотности дыма [2].

Уравнения (1) и (3) решаются методом контрольных объемов [4] по неявной конечно-разностной схеме на неравномерной шахматной сетке. Начальные и граничные условия подробно приведены в работах [2, 3].

### Одномерный “квазистационарный” подход

Простой инженерный подход с использованием уравнений одномерной газовой динамики по истечению из неограниченной емкости приведен в монографии [1].

При докритическом режиме истечения газовой смеси и дыма из помещения через проем наружу массовый расход составит:

$$G_{1d} = \mu F \times \sqrt{\frac{2k}{k+1} p_m \rho_m \left[ \left( \frac{p_a}{p_m} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_a}{p_m} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}. \quad (4)$$

Учет трехмерности и нестационарности течения в выражении (4) можно оценить через величину коэффициента расхода:

$$\mu = G_{3d} / G_{1d}, \quad (5)$$

где  $G_{3d}$  — массовый расход газовой смеси и дыма через проем, определяемый с помощью трехмерной нестационарной полевой модели.

### Результаты численного расчета тепломассообмена и их анализ

Расчеты проведены для модельного пожара в герметичном помещении размерами  $6 \times 6 \times 6$  м с одним дверным проемом шириной 2 м и высотой 0,9 м. Проем мгновенно открывается в момент времени, когда происходит полное выгорание кислорода в помещении.

Для определения дальности выброса неизотермической нестационарной струи и ее температуры рассматривалась прилегающая к проему открытая зона размерами  $94 \times 36 \times 20$  м.

Среднеобъемная температура в помещении  $T_m$  перед вскрытием проема менялась от 200 до 700°C, давление  $p_m$  от  $1,01 \cdot 10^5$  до  $1,6 \cdot 10^5$  Па. Скорость ветра была принята равной нулю.

На рис. 1–3 представлены поля температур, схемы течения, а также поля скоростей газовой смеси и дыма в вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии двери, через 0,5, 2 и 10 с при  $T_m = 600^\circ\text{C}$  и  $p_m = 1,2 \cdot 10^5$  Па.

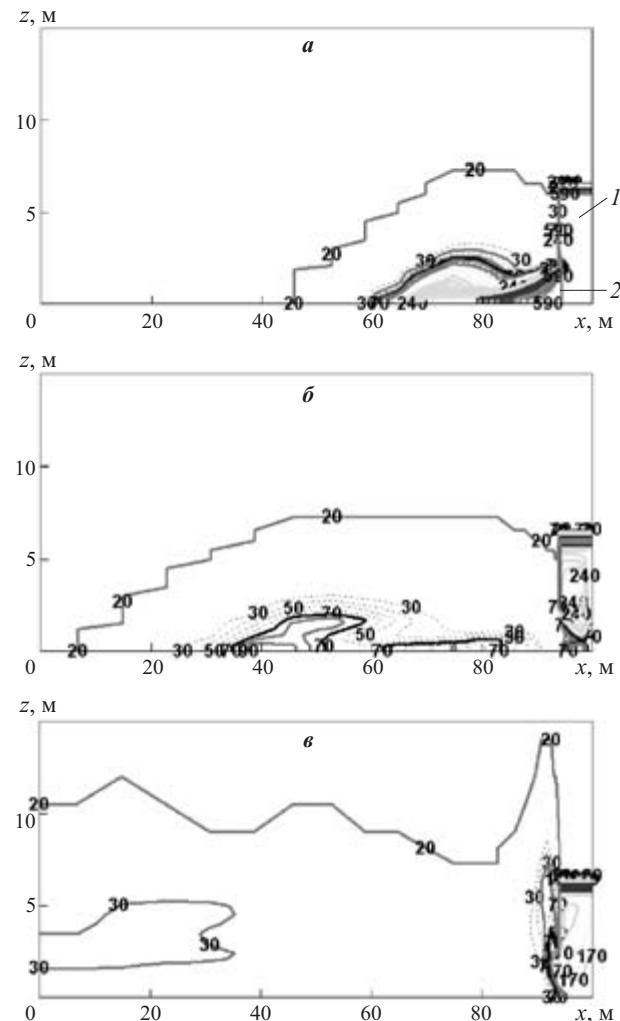


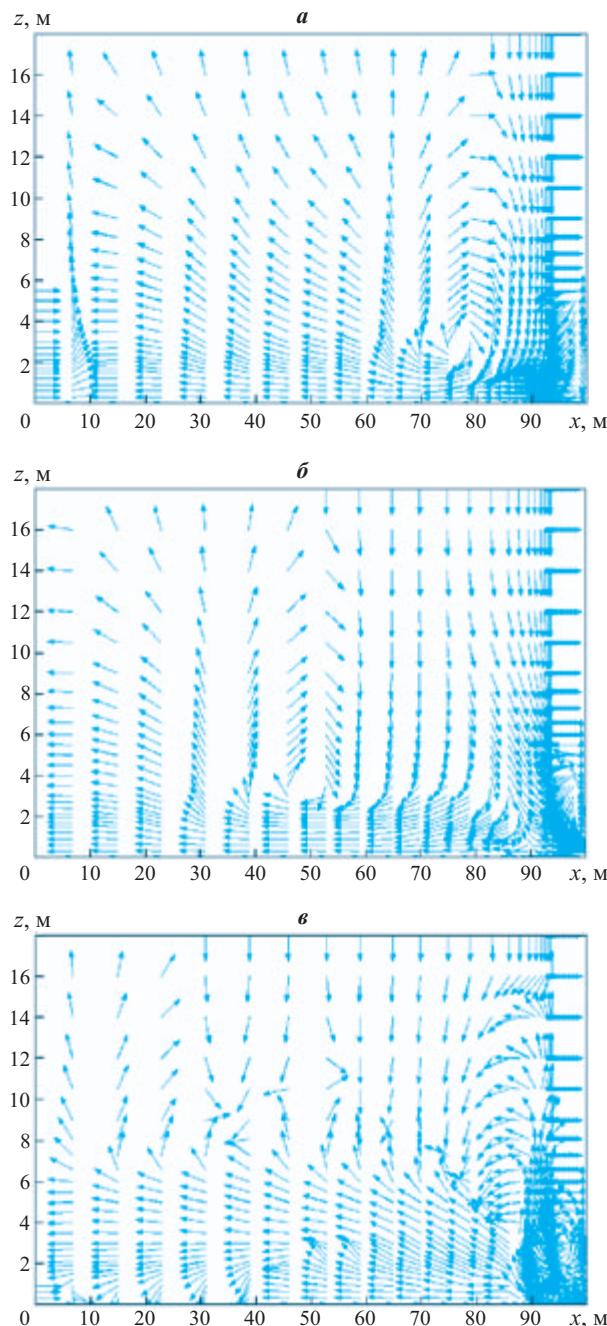
Рис. 1. Поля температур в вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии двери, через 0,5 (а), 2 (б) и 10 с (в) от начала истечения: 1 — помещение, где происходит пожар; 2 — вскрытый проем

На рис. 1 жирной линией выделены изотермы с критической температурой для человека, равной 70°C.

Результаты численного эксперимента показывают, что при мгновенном открывании двери образуется неизотермическая струя (см. рис. 1, а) шириной, равной ширине двери. Через ~1,2–1,5 с происходит отрыв горячей области струи от проема под действием струи атмосферного воздуха, вовлекаемой в движение (см. рис. 2, а, б).

Горячая область струи охлаждается за счет перемешивания с атмосферным воздухом. Зона с повышенными температурами, опасная для человека, через ~2 с достигает максимального расстояния от проема (56 м при заданных исходных данных) (см. рис. 1, б).

Спустя 8–10 с от начала истечения максимальная температура в прилегающей к проему наружной области не превышает 30°C (см. рис. 1, в).

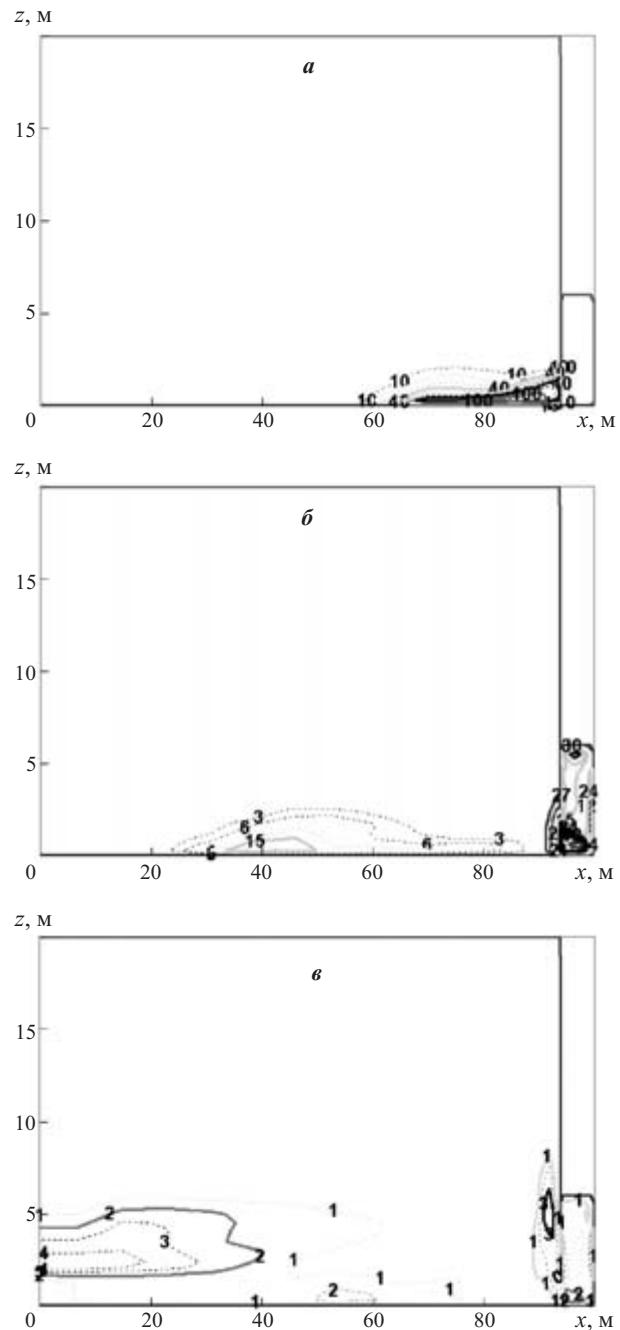


**Рис. 2.** Схемы течения в вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии двери, через 0,5 (а), 2 (б) и 10 с (в) от начала истечения

При этом выходящая через проем наружу газовая смесь, состоящая из продуктов горения и газификации горючего материала, дыма и воздуха, начинает под действием гравитационных сил подниматься вверх.

На рис. 4 и 5 приведены зависимости массового расхода истечения через проем и коэффициента расхода (выражение (5)) соответственно.

Из рис. 4 видно, что величина массового расхода, определенная с помощью одномерного подхода, сначала больше значения расхода, найденного по полевой трехмерной модели, а затем меньше.

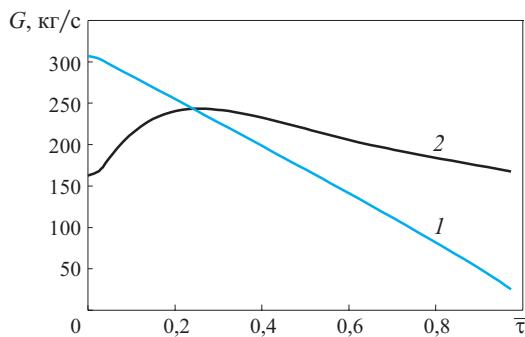


**Рис. 3.** Поля скоростей в вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии двери, через 0,5 (а), 2 (б) и 10 с (в) от начала истечения

Результаты численного расчета коэффициента массового расхода  $\mu$  (выражение (5)) через проем при заданном диапазоне исходных данных при изменении  $\bar{\tau}$  от 0 до 0,8 могут быть аппроксимированы линейной зависимостью с погрешностью, не превышающей 22%:

$$\mu = 1,83\bar{\tau} + 0,54. \quad (6)$$

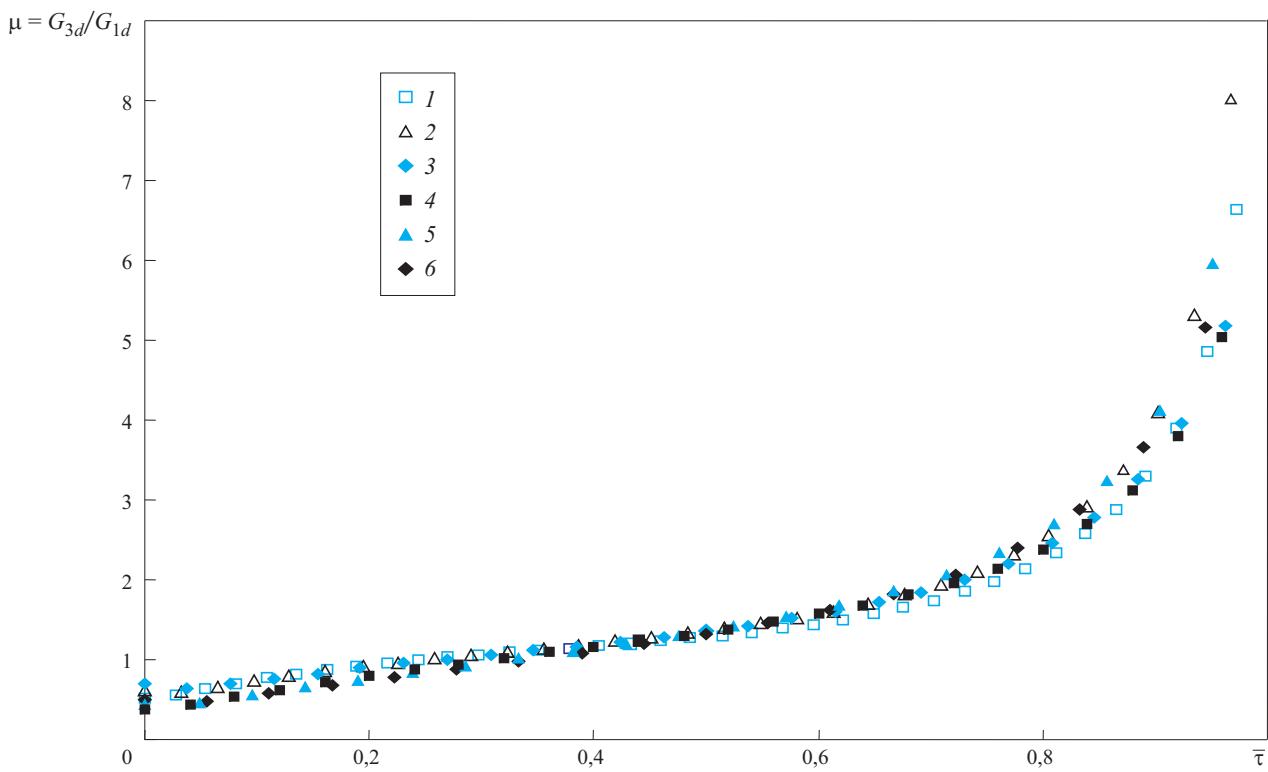
При изменении  $\bar{\tau}$  от 0,8 до 1,0 различие между величинами  $\mu$ , полученными для разных исходных



**Рис. 4.** Зависимости массового расхода истечения через проем при  $T_m = 600^{\circ}\text{C}$  и  $p_m = 1,2 \cdot 10^5$  Па: 1 — одномерный “квазистационарный” подход; 2 — трехмерная нестационарная полевая модель

Зависимость дальности выброса струи от начальных среднеобъемных величин температуры и давления

$T_m, ^\circ\text{C}$	$p_m \cdot 10^{-5}, \text{ Па}$	$L, \text{ м}$
400	1,2	62
500	1,2	64
600	1,01	11
600	1,2	69
600	1,4	90
600	1,6	110
400	1,2	62
500	1,2	64



**Рис. 5.** Зависимости коэффициента массового расхода от безразмерного времени с начала истечения: 1 —  $T_m = 200^{\circ}\text{C}$ ,  $p_m = 1,2 \cdot 10^5$  Па; 2 —  $T_m = 400^{\circ}\text{C}$ ,  $p_m = 1,2 \cdot 10^5$  Па; 3 —  $T_m = 600^{\circ}\text{C}$ ,  $p_m = 1,2 \cdot 10^5$  Па; 4 —  $T_m = 200^{\circ}\text{C}$ ,  $p_m = 1,1 \cdot 10^5$  Па; 5 —  $T_m = 400^{\circ}\text{C}$ ,  $p_m = 1,1 \cdot 10^5$  Па; 6 —  $T_m = 600^{\circ}\text{C}$ ,  $p_m = 1,1 \cdot 10^5$  Па

параметров пожара в помещении, составляет более 60%.

При выравнивании среднего давления внутри и снаружи помещения одномерный “квазистационарный” подход не учитывает локальные распределения давлений, массовый расход в соответствии с ним равен нулю.

Величины дальности выброса опасной для здоровья и жизни человека части струи (с температурой  $> 70^{\circ}\text{C}$ ) в зависимости от среднеобъемных значений температуры и давления в помещении перед вскрытием проема приведены в таблице.

Из таблицы видно, что среднеобъемная температура перед вскрытием проема слабо влияет на дальность выброса. При увеличении  $T_m$  от 400 до  $700^{\circ}\text{C}$  (на 75%) при одинаковом значении  $p_m = 1,2 \cdot 10^5$  Па величина дальности выброса  $L$  увеличивается от 62 до 71 м (на 14,5%).

Влияние среднеобъемного давления перед вскрытием проема более существенно. При изменении  $p_m$  от  $1,01 \cdot 10^5$  до  $1,6 \cdot 10^5$  Па (подъем давления на 58%) значение  $L$  увеличивается от 11 до 110 м (в 10 раз).

## Выходы

Результаты численного моделирования параметров тепломассообмена в случае мгновенного вскрытия проема в помещении при пожаре с использованием полевой модели показали, что даже без догорания снаружи помещения неизотермическая газовая струя представляет опасность для человека на достаточно больших расстояниях от проема.

Предложена формула для уточнения коэффициента расхода истечения горячей задымленной газовой смеси через проем при одномерном “квазистационарном” подходе с учетом трехмерности и нестационарности течения.

## Список обозначений

- $G$  — массовый расход газовой смеси и дыма через проем, кг/с;  $F$  — площадь проема, м<sup>2</sup>;  $I_0$  — интенсивность излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup>,  $I_0 = \sigma T^4$ ;  $k$  — показатель адиабаты;  $L$  — дальность выброса области струи с температурой, большей 70°C, м;  $T$  — температура, К;  $T_m$  — среднеобъемная температура газовой смеси и дыма в помещении, К;

- $p_a$  — атмосферное давление, Па;  $p_m$  — среднеобъемное давление газовой смеси и дыма в помещении, Па;  $w$  — скорость, м/с;  $x$  — координата вдоль длины помещения, м;  $y$  — координата вдоль ширины помещения, м;  $z$  — координата вдоль высоты помещения, м;  $\rho$  — плотность газовой смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_m$  — среднеобъемная плотность газовой смеси и дыма в помещении, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta$  — интегральный коэффициент ослабления, м<sup>-1</sup>;  $\chi$  — интегральный коэффициент излучения, м<sup>-1</sup>;  $\mu$  — коэффициент расхода;  $\sigma$  — постоянная излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $\tau$  — время, с;  $\bar{\tau}$  — безразмерное время,  $\bar{\tau} = \tau / \tau^*$ ;  $\tau^*$  — время, за которое давление внутри помещения становится равным атмосферному, с.

## Индексы

- $a$  — атмосферный воздух;  $1d$  — одномерный “квазистационарный” подход;  $3d$  — трехмерный нестационарный подход;  $m$  — среднеобъемные параметры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
2. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
3. Пузач С. В., Пузач В. Г. Некоторые трехмерные эффекты тепломассообмена при пожаре в помещении // ИФЖ. — 2001. — Т. 74, № 1. — С. 35–40.
4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 152 с.
5. Оцисик М. Н. Сложный теплообмен. — М.: Мир, 1976. — 616 с.

Поступила в редакцию 23.04.07.



Заместитель директора по научной работе ЗАО "Вектор-Бест-Балтика", г. Санкт-Петербург

**K. С. Бахарев**



Канд. техн. наук, директор ООО "Научно-производственная фирма "ЛИДИНГ", г. Санкт-Петербург

**N. H. Гусев**



Д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры "Организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ" Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС РФ

**I. Г. Малыгин**

УДК 614.841

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ ВОДОЗАБОРА И ВОДООЧИСТКИ

Рассматриваются современные проблемы контроля и предупреждения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях, объектах водозабора и водоочистки. Предложен вариант создания региональной информационной системы мониторинга гидротехнических сооружений, объектов водозабора и водоочистки (РИСМ ГТСиОВЗВО). Рассматриваются вопросы мониторинга химико-биологического состава воды на объектах водозабора и водоочистки, предлагается автоматизированный прибор для получения значений концентрации исследуемого вещества в пробе, первичной обработки этой информации и передачи ее в цифровом виде в РИСМ ГТСиОВЗВО. Представляется автоматизированный прибор для "реанимации" струнных датчиков с нестабильными показаниями для мониторинга за напряженно-деформированным состоянием и пространственной стабильностью конструкций гидротехнических сооружений, объектов водозабора и водоочистки с возможностью первичной обработки этой информации и передачи ее в цифровом виде в РИСМ ГТСиОВЗВО.

В настоящее время в стране отсутствуют системы сбора и обобщения данных о состоянии гидротехнических сооружений, объектов водозабора и водоочистки (ГТСиОВЗВО), системы, которые были бы готовы принять информацию о чрезвычайных ситуациях (ЧС) на указанных объектах и способные предпринять первые управлочные решения, направленные на предотвращение возникновения ЧС. Это, безусловно, способствует увеличению времени ликвидации ЧС и стоимости проведения мероприятий, направленных на ликвидацию последствий ЧС на этих сооружений. ГТСиОВЗВО имеют не только важное стратегическое, экономическое и оборонное значение, но и социально-политическое, так как надежное и устойчивое обеспечение питьевой водой населенных пунктов, особенно крупных городов, несет стабилизирующее значение для социально-политической активности населения. Поэтому без надежной информационной системы мониторинга гидротехнических сооружений, объектов водозабора и водоочистки (ИСМ ГТСиОВЗВО) кардинально изменить ситуацию в

области предотвращения ЧС на них практически не представляется возможным.

21 июля 1997 г. были принятые два основополагающих закона Российской Федерации в области безопасности сооружений: №116 "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" [1] и №117 "О безопасности гидротехнических сооружений" [2], которые обязывают собственников или организации, эксплуатирующие опасные объекты, декларировать безопасность сооружений на всех стадиях их существования — от проектирования до ликвидации. При составлении декларации безопасности и последующей ее экспертизе особое внимание должно быть уделено системе мониторинга за показателями состояния сооружений, которая основывается на данных средств контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Наличие системы мониторинга, достаточность и работоспособность средств КИА — обязательные условия для получения положительного заключения экспертизы, декларации безопасности, а затем и ее утверждения органами надзора.

Информационная система мониторинга посредством сбора показаний КИА должна дать однозначный ответ — соответствует ли фактическое состояние объекта допустимым критериям безопасности, которые определяются на стадии разработки декларации безопасности.

Логично предположить следующую последовательность мер по обеспечению безопасности сооружений ГТСиОВЗВО региона:

- 1) разработка критериев безопасности сооружения;
- 2) проектирование сооружения, отвечающего требованиям этих критериев;
- 3) разработка средств контроля (мониторинга) за показателями состояния сооружения и воды и сличения их с критериями безопасности;
- 4) создание и эксплуатация сооружения, показатели фактического состояния которого постоянно контролируются и сравниваются с их предельными значениями (критериями безопасности) с помощью средств КИА;
- 5) подключение системы мониторинга объекта к информационной системе мониторинга региона.

Однако на практике эта последовательность нарушается по вполне объективным причинам: во-первых, большинство объектов ГТСиОВЗВО, безопасность которых подлежит обязательному декларированию, возведено до принятия законов о безопасности; во-вторых, многие системы наблюдения за состоянием сооружений и химико-биологическом составом воды, которые сейчас пытаются приспособить к решению задач мониторинга за показателями состояний, были созданы до разработки критериев безопасности.

В такой ситуации разработчики декларации безопасности стоят перед выбором: или сократить число критериев технической безопасности сооружений и подогнать их под имеющийся качественный и количественный состав средств КИА на объекте, снижая тем самым достоверность и полноту оценки соответствия фактического состояния сооружения критериям безопасности, или приспособить имеющиеся средства КИА к новым критериям, т.е. доказать, что имеющиеся средства контроля позволяют отслеживать состояние сооружения по всем критериям безопасности данного объекта, что проблематично исходя из современного состояния средств КИА на объектах. Аналогичные выводы относятся и к химико-биологическому составу воды.

Средства КИА создавались с целью проведения натурных исследований и контрольных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием и пространственной стабильностью конструкций в

строительный и эксплуатационный периоды, проверки правильности принятых проектных решений и последующего наблюдения за эксплуатационным состоянием сооружения, т.е. не ориентировались на решение конкретной задачи мониторинга безопасности сооружения.

Традиционно комплекты средств наблюдения систем испытаний и долговременного контроля (ИДК) объектов создавались на основе струнных преобразователей, позволяющих осуществлять оперативный дистанционный контроль статических показателей состояния сооружения. Однако гарантийный срок струнных преобразователей составляет всего от 6 до 18 месяцев, а сами преобразователи поверкам не подлежат.

Средний возраст систем ИДК — 30–40 лет. Большая часть преобразователей, общее число которых на некоторых объектах составляло десятки тысяч, за это время вышли из строя или дают нестабильные показания, что ни одно и то же. Например, на большинстве гидротехнических объектов стабильные показания дают не более 20% струнных преобразователей.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также тот факт, что средства КИА существующих систем ИДК не могут быть сертифицированы в соответствии с законом Российской Федерации от 27 апреля 1993 г. №4871-1 “Об обеспечении единства измерений” [3] можно констатировать, что:

1. Средства КИА традиционных систем ИДК не могут рассматриваться в качестве средств систем мониторинга за показателями состояния сооружений, как не соответствующие требованиям федеральных законов по безопасности, а получаемые с их помощью данные не могут использоваться для оценки безопасности гидротехнических сооружений.

2. Существующие системы и средства КИА должны быть подвергнуты детальному диагностированию с целью оценки их работоспособности, после чего переведены из разряда *средств измерения* в разряд *средств контроля или индикации*.

3. Выводы и заключения о показателях состояния сооружений и их безопасности, сделанные на основании существующих средств КИА на базе струнных преобразователей, должны быть детально проанализированы.

4. На объектах, безопасность которых подлежит декларированию, должны быть созданы новые системы мониторинга, отвечающие требованиям законов о безопасности.

5. Необходимо осуществить передачу данных о состоянии сооружений, полученных с помощью прежних средств КИА, к вновь создаваемым.

6. Декларации безопасности ныне существующих объектов должны пройти повторную экспертизу.

На переходном этапе основной задачей является обеспечение непрерывности получения информации о состоянии сооружений (объектов) при максимально возможном числе точек и параметров контроля.

Одним из возможных путей увеличения объема информации о состоянии сооружения на существующих объектах может быть рост числа точек измерения или контроля параметров. Однако, как отмечалось выше, на сегодня не более 20% струнных преобразователей дают стабильные показания, т.е. признаются работоспособными. На практике же отсутствие стабильности показаний еще не означает, что преобразователь утратил свою работоспособность.

В разработках Научно-производственной фирмы “ЛИДИНГ” (г. Санкт-Петербург) [4] доказано, что для “реанимации” струнных датчиков с нестабильными показаниями достаточно обеспечить подбор параметров импульса возбуждения для каждого преобразователя индивидуально, что позволяет:

- 1) вернуть в состав измерений до 60% струнных преобразователей, ранее считавшихся неработоспособными, т.е. увеличить на 60% достоверность оценки безопасности ответственных объектов и сооружений;
- 2) принимая во внимание, что стоимость одного канала измерения систем ИДК составляет от 30 до 300 тыс. руб., внедрение предложенного способа обеспечит существенный экономический эффект, исчисляемый в масштабах страны миллиардами долларов.

Однако, как отмечалось выше, реанимированные таким образом преобразователи не могут рассматриваться как средства измерения, их следует использовать только как средства контроля или индикации. Тем не менее получаемая с помощью струнных преобразователей информация может являться основой для анализа тенденций в поведении сооружений ГТСиОВЗВО и прогноза уровня безопасности жизненно важного объекта в целом.

Информация, полученная от КИА объекта ГТС и ОВЗВО, должна быть преобразована в цифровую форму для дальнейшей передачи в вышестоящую информационную систему мониторинга региона.

Важное значение имеет и мониторинг химико-биологического состава воды на объектах водозабора и водоочистки (ОВЗВО). В нашем случае для получения результата необходимо воспользоваться химическим способом измерения исследуемого аналита. Это значит, что автономные приборы автоматически (в простейшем примере) смешивают не-

кий реагент с пробой воды, после чего начинается химическая реакция. Прибор автоматически следит за этой реакцией по изменению окраски, фиксирует это изменение за определенный промежуток времени и сравнивает его с известным значением калибратора. Для этого он всасывает смесь реагента с образцом в устройство, называемое проточной кюветой, посредством перистальтического насоса. Кювета прозрачна и через нее проходит луч света определенной длины волны (340–700 нм) в зависимости от образующейся окраски реакционной смеси. Оптическая плотность луча, прошедшего сквозь кювету, меньше, чем его начальная оптическая плотность (так как раствор в кювете поглотил часть энергии света). Указанная разница оптических плотностей называется *оптической плотностью раствора*. Этот параметр измеряется прибором и сравнивается с оптической плотностью раствора, имеющего известную концентрацию исследуемого вещества. Таким образом, прибор получает значение концентрации исследуемого вещества в пробе и посыпает его по интерфейсу RS232 на COM-порт компьютера. Посыпаемый сигнал имеет вид:

*CAL 000123 1,2 mmol/L H,*

где *CAL* — сокращенное обозначение анализа, программируется непосредственно на анализаторе (например, кальций);

*000123* — уникальный идентификационный шестизначный номер образца, который задается оператором непосредственно с клавиатуры прибора в момент проведения исследования;

*1,2* — концентрация исследуемого вещества в образце, определенная анализатором в результате произошедшей реакции с реагентом;

*mmol/L* — единицы измерения, используемые для обозначения концентрации исследуемого вещества в системе СИ, программируются из меню анализатора;

*H* — латинская буква, отражающая превышение концентрации анализируемого вещества (ПДД для данного вида образца), значения ПДД автоматически программируются из меню анализатора.

Локальная сеть мониторинга ОВЗВО получает этот сигнал и посыпает его дальше в информационную систему мониторинга гидротехнических сооружений, объектов водозабора и водоочистки. Эта информация попадает в базу данных, в которой на основе разработанного в ЗАО “Вектор-Бест-Балтика” программного обеспечения (ПО) осуществляется обработка накапливаемой мониторинговой информации по определенному алгоритму. В базе данных информационной системы создано соответствие получаемого идентификационного номе-

ра развернутому описанию образца, включающему тип образца (вода, почва, раствор газа), дату и время, место забора, особенности образца (например, глубина забора воды или грунта).

Меню “Образец” позволяет вести поиск в базе данных образцов по идентификационному номеру, типу, дате, времени и месту забора образца в любых сочетаниях. После завершения поиска программа отображает найденные результаты в виде таблицы, из которой возможно получение печатного отчета, графического отображения динамики изменения концентрации вещества в исследуемом объекте. Эти отчеты могут быть переданы на главный компьютер системы, тогда пользователь главного компьютера (оперативный дежурный) сможет отслеживать информацию по разным объектам ОВЗО региона (озера, реки). Кроме того, ПО предусмотрено режим, когда предельно допустимая концентрация химико-биологических веществ на каком-либо объекте превышает предельную норму, то на экране компьютера оперативного дежурного автоматически высвечивается информация о том, на каком объекте (месте установки автоматического прибора) произошло превышение допустимой концентрации, эта информация сопровождается звуковым сигналом.

В настоящее время идут работы над более совершенной версией программы, когда будет возможно подключать физические карты регионов для построения карт загрязнения бассейнов рек и озер.

Вышеизложенное достигается созданием полномасштабной системы автоматизированного сбора и анализа оперативной информации о чрезвычайных ситуациях на основных ГТСиОВЗО региона, оценкой этой обстановки, прогнозированием ее возможного развития и, в случае ухудшения, выдачей данных для поддержки принятия управлеченческих решений на различных уровнях, в том числе и МЧС России.

Предлагается создать под эгидой МЧС России региональные информационные системы мониторинга ГТСиОВЗО с дальнейшей увязкой их в Единую государственную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Необходимость наличия систем мониторинга на основе средств КИА на опасных объектах законодательно закреплена федеральными законами №116 “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” [1] и №117 “О безопасности гидротехнических сооружений” [2], однако требования к указанным системам не регламентированы нормативными актами, что отрицательно сказывается на их эффективности.

Сегодня остро стоят следующие вопросы, без решения которых эффективность систем монито-

ринга на опасных объектах не может быть обеспечена:

1. Необходима разработка более детализированной, чем предусмотрено Приложением 1 закона от 21.06.97 №116-ФЗ, классификации сооружений по степени опасности. Эта классификация должна учитывать:
  - класс (группу) факторов, по которым производственный объект отнесен к опасному производству (Приложение 1 закона от 21.06.97 №116-ФЗ);
  - реальные, а не только предельные количества опасных веществ на производственном объекте, по которым объект отнесен к опасному производству (Приложение 2 закона от 21.06.97 №116-ФЗ);
  - удаленность от населенных пунктов;
  - значимость объекта для безопасности страны;
  - проектный и фактический ресурсы (срок службы сооружения, объекта).

Система классификации должна рассматривать критерии оценки безопасности вновь проектируемых, строящихся и находящихся в эксплуатации зданий отдельно.

Структура классификации должна быть такой, чтобы на стадии проектирования и экспертизы проекта могла быть реализована фактическая проверка соответствия проекта указанным критериям. В числе обязательных должны быть разделы проекта, отражающие:

- гарантый срок эксплуатации;
- критерии оценки остаточного ресурса объекта (сооружения);
- проверяемые процедуры оценки безопасности сооружения на всем промежутке его существования (строительства, эксплуатации, консервации и ликвидации);
- обоснование (на основе классификации) наличия и объема аппаратурных средств контроля за эксплуатационным состоянием объекта (сооружения);
- обоснование методик, периодичности и объемов наблюдения за состоянием сооружений;
- обоснование обеспечения непрерывности мониторинга за состоянием сооружения, преемственность средств контроля, их совместимость;
- рекомендации по совершенствованию системы мониторинга в случаях:
  - а) истечения гарантыйного срока эксплуатации сооружения;
  - б) выхода из строя части системы контроля;
  - в) изменения критериев оценки безопасности;
  - г) изменения собственника сооружения;
  - д) аварий на объекте природного или техногенного характера;

- е) дробления объекта на несколько более мелких или объединения ряда объектов в один более крупный.

На стадии эксплуатации объекта (сооружения) или экспертизы его состояния должно быть проверено фактическое соответствие состояния объекта *критериям безопасности, действующим на данный момент*, а не на момент создания объекта.

На стадии эксплуатации или экспертизы состояния сооружения (объекта) должна быть предусмотрена процедура изменения класса его безопасности. При принятии такого решения должно учитываться изменение:

- гидрогеологических и метеорологических факторов в процессе эксплуатации объекта (в том числе вызванных эксплуатацией данного объекта);
- тектонических условий;
- интенсивности и характера статических и особенно динамических нагрузок на здания и сооружения (например, при замене оборудования в зданиях и на прилегающих территориях на более мощное или имеющее иные динамические характеристики, чем у предыдущего оборудования, или при изменении характеристик транспортных нагрузок);
- эксплуатационных характеристик зданий и сооружений вследствие техногенных аварий, особенно связанных с разрывами трубопроводов в карстовых зонах;
- физико-механических свойств строительных материалов, из которых возводились здания, ввиду изменения условий эксплуатации, в том числе экологических.

2. Классификация сооружений по степени опасности должна законодательно закреплять необходимость наличия систем контроля на объекте, их состав, этапы (стадии) развертывания и модернизации.

3. На основе классификации безопасности должна быть проведена паспортизация сооружений.

4. Необходимо выработать общий подход к экспериментальной оценке эксплуатационного состояния объектов, т.е. оценке их безопасности. Одной из приоритетных задач исследований должно быть совершенствование методики оценки остаточного ресурса сооружений (объектов) на основе как теоретических расчетов, так и экспериментальных исследований и наблюдений.

5. Необходимо определить стратегию в области натурных наблюдений за состоянием ГТСиОВЗВО, а также за химико-биологическим составом воды. Разработать классификацию средств контроля за состоянием безопасности сооружений и положение по их применению.

6. В зависимости от класса безопасности сооружения необходимо разделить функции контроля

(и ответственность за обеспечение безопасности) между проектными, строительными, научно-исследовательскими, специализированными, эксплуатирующими и контролирующими организациями.

7. Методика оценки эксплуатационного состояния (безопасности) объекта должна предусматривать преемственность передачи данных от одного поколения средств контроля к другим.

8. Должна быть разработана методика корреляции данных измерений различных комплектов средств измерения на объектах.

9. Данные об изменении состояния сооружений через информационно-телекоммуникационную сеть РИСМ ГТСиОВЗВО должны направляться в аналитические центры (центры мониторинга) системы и там анализироваться компетентными специалистами, а в случае превышении предельно-допустимых норм — автоматически выводиться на мониторы оперативных дежурных системы и передаваться в Центры управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) Главных управлений МЧС России по субъектам РФ.

10. Необходимо решить вопрос судьбы средств долговременного контроля, гарантийный срок эксплуатации которых истек.

11. Гарантийный срок эксплуатации первичных преобразователей средств долговременного контроля соизмерим со сроком строительства ответственных сооружений (от 3 до 8 лет). Следовательно, к моменту начала эксплуатации с метрологической и юридической точек зрения данным отдельных средств долговременного контроля доверять нельзя, так как их гарантийный срок истек, а поверкам они не подлежат.

Таким образом, в рамках предлагаемой ИСМ ГТСиОВЗВО региона необходимо разработать и внедрить:

- методику и средства диагностики самих систем контроля;
- методику, позволяющую по истечении гарантийного срока первичных преобразователей давать заключение о судьбе данного средства контроля;
- методику проведения измерений с помощью средств с истекшим гарантийным сроком первичных преобразователей (возможно, это будет изменение погрешности измерения или перевод системы из разряда средства измерения в разряд средства индикации со всеми вытекающими последствиями);
- методику оценки остаточного ресурса с учетом утраты определенного количества первичных преобразователей;
- методику передачи данных о напряженно-деформированном состоянии в данной точке с по-

- мощью нового преобразователя или преобразователя, находящегося в другой точке;
- методику оценки химико-биологического состава воды;
  - средства долговременного контроля с возможностью автоматического съема и передачи цифровой информации в компьютерные системы;
  - средства долговременного контроля со значительно увеличенным гарантийным сроком эксплуатации или подлежащие поверкам в процессе эксплуатации;
  - средства регистрации экстремальных значений параметров контроля в аварийных ситуациях,

когда нарушено энергоснабжение и вышли из строя средства связи и телекоммуникации.

### Выводы

1. Необходимо разработать региональные информационные системы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений и объектов водозабора и водоочистки, а также интегрировать эти системы в состав РСЧС.
2. Следует осуществить дальнейшее совершенствование законодательной базы РФ в области средств и систем мониторинга безопасности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Российской Федерации от 21 июля 1997 г. №116 “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (с изм. от 27 декабря 2000 г., 30 декабря 2001 г., 24 декабря 2002 г., 10 января и 23 декабря 2003 г., 22 августа 2004 г., 9 мая 2005 г.). — М.: Юридическая литература, 2005.
2. Закон Российской Федерации от 21 июля 1997 г. №117 “О безопасности гидротехнических сооружений” (с изм. от 27 декабря 2000 г., 30 декабря 2001 г., 24 декабря 2002 г., 10 января и 23 декабря 2003 г., 22 августа 2004 г., 9 мая 2005 г.). — М.: Юридическая литература, 2005.
3. Закон Российской Федерации от 27 апреля 1993 г. №4871-1 “Об обеспечении единства измерений”. — М.: Юридическая литература, 1993.

Поступила в редакцию 05.03.07.



Д-р техн. наук,  
профессор кафедры ПБС  
Академии ГПС МЧС РФ  
**В. М. Есин**



Адъюнкт кафедры ПБС  
Академии ГПС МЧС РФ  
**С. П. Калмыков**

УДК 614.841

## ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНУЮ РАБОТУ СИСТЕМЫ ДЫМОУДАЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ АВТОСТОЯНКИ ЗАКРЫТОГО ТИПА ПРИ ПОМОЩИ СТРУЙНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

На основе математического моделирования проведен ряд теоретических экспериментов работы системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов с целью выявления и обоснования основных параметров, обеспечивающих эффективную работу этой системы. По результатам исследований сформулированы предложения по применению струйных вентиляторов.

### 1. Постановка проблемы исследования

Для правильной и эффективной работы системы струйной вентиляции необходимо учесть ряд параметров. К ним относятся напор, создаваемый вентилятором, его производительность, скорость воздуха на выбросном патрубке, КПД, количество оборотов и диаметр рабочего колеса и т.п., а также пространственные характеристики размещения струйных вентиляторов.

Наряду с вышеуказанными актуальным параметром для струйного вентилятора является также величина *тяги*, определяемая следующим образом [5]:

$$T_m = \rho q_{VF} V_F = \frac{\rho q_{VF}^2}{A_F} = \rho V_F^2 A_F,$$

где  $T_m$  — тяга, создаваемая вентилятором, Н;

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

$q_{VF}$  — объемный расход воздуха через струйный вентилятор, м<sup>3</sup>/с;

$V_F$  — скорость потока воздуха на выбросном патрубке вентилятора, м/с;

$A_F$  — площадь поперечного сечения вентилятора, м<sup>2</sup>.

Необходимо учитывать геометрические характеристики помещения и влияние работы других систем. К геометрическим параметрам помещения относятся его линейные размеры, конфигурация, места размещения воздухо- и дымоприемных отверстий вытяжных шахт, возможные препятствия для перемещения воздуха (балки, коммуникации

и т.п.), расположение выходов из помещения автостоянки, через которые возможна эвакуация, во избежание воздействия динамического давления на двери этих выходов. Системой, которая может оказать влияние на работу системы струйной вентиляции, может являться система автоматического пожаротушения.

Для выявления и обоснования основных параметров, обеспечивающих эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов, был проведен ряд численных экспериментов.

### 2. Принципы работы системы струйной вентиляции

В качестве противодымной защиты автостоянок закрытого типа, как и транспортных тоннелей, система струйной вентиляции используется для создания необходимой скорости потока воздуха — большей, чем скорость дымовых газов, образующихся при пожаре автомобиля, для перемещения потока дыма в заданном направлении (рис. 1).

В работе [6] выполнены расчеты скорости потока дымовых газов, возникающего при горении автомобиля в тоннеле. Так, например, в тоннеле шириной 10 м и высотой 5 м с очагом горения в 3 МВт скорость потока дымовых газов составит 1,3 м/с. Дымовые газы от подобного очага горения в автостоянке будут растекаться во всех направлениях. В табл. 1 приведены результаты расчетов [6], произведенных для тоннелей и применяемых при моделировании пожаров в закрытых автостоянках.

На рис. 2 показана картина движения воздуха вблизи контура струи. Поток воздуха от струйных вентиляторов вовлекает за собой воздух из нижних “неподвижных” зон (ниже 1,8 м), что показано движением в направлении, противоположном направлению струи.

При использовании системы струйной вентиляции для целей противодымной защиты закрытых автостоянок возможно частичное дымоудаление из таких помещений за счет ограничения растекания дымовых газов по ширине автостоянки при определенных скоростях воздушных струй, выходящих из вентиляторов [15]. На рис. 3 показана схема частичного дымоудаления из помещения автостоянки.

При обнаружении очага пожара приборами автоматики активизируются струйные вентиляторы, причем возможно включение не всех вентиляторов в помещении, а лишь тех, работа которых будет препятствовать растеканию дымовых газов от очага горения и перемещать их к отверстиям вытяжных шахт. Скорость воздушных струй должна быть

выше скорости дымовых газов на границах вентилируемой зоны для предотвращения распространения дыма на остальную часть помещения.

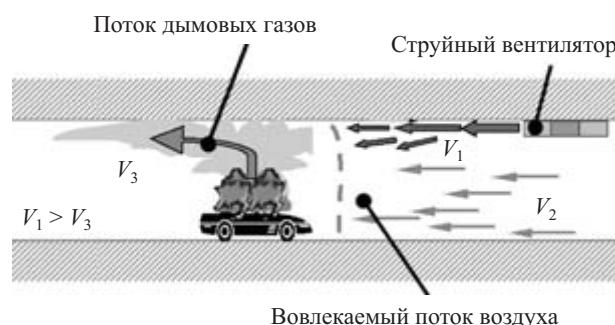
В табл. 2 приведены значения необходимой скорости воздушных струй в зависимости от ширины задымленной зоны при горении автомобиля с мощностью теплового потока 3 МВт [15].

Из сравнения значений скоростей воздушного потока (табл. 2) и дымовых газов (табл. 1) видно, что для вентиляции задымленной зоны шириной 20 м возможно ограничить распространение дыма в пределах 5 м от очага пожара. Это будет гарантировать перемещение основного потока к дымоприемным отверстиям вытяжных шахт и предотвратит распространение дыма на остальную площадь автостоянки. Такое решение отсутствует у систем противодымной и общеобменной вентиляции с воздуховодами.

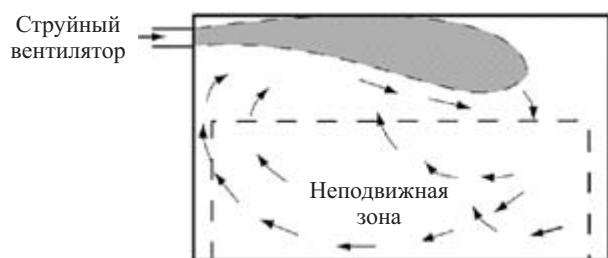
Для уменьшения расходов, связанных с оснащением помещений закрытых автостоянок системой струйной вентиляции, целесообразно предусматривать оптимальное количество струйных вентиляторов для максимально эффективной работы такой системы. Согласно данным [8] максимальная величина тяги струйных вентиляторов, применяемых в закрытых автостоянках, составляет 53–56 Н при диаметре рабочего колеса вентилятора 400 мм. Такая тяга соответствует скорости потока воздуха на выбросном патрубке вентилятора, равной 18–20 м/с

**Таблица 1.** Скорость потока дымовых газов при горении автомобиля (очаг горения мощностью 3 МВт)

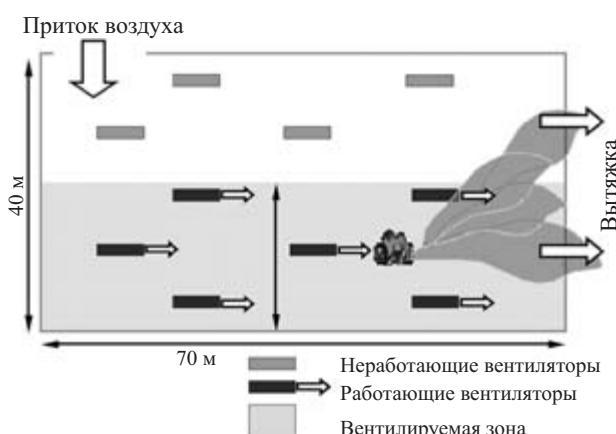
Расстояние от очага горения, м	Скорость потока дыма, м/с
3	1,52
16	0,89
32	0,7
80	0,5



**Рис. 1.** Схема работы струйной противодымной вентиляции



**Рис. 2.** Схема движения воздуха вблизи струй



**Рис. 3.** Схема частичного дымоудаления из помещения автостоянки

**Таблица 2.** Значения необходимой скорости воздушных струй в зависимости от ширины задымленной зоны

Ширина задымленной зоны, м	Необходимая скорость воздуха, м/с
10	2,8
20	1,4
30	0,95
50	0,57

при нормальных условиях. Эта величина скорости воздушного потока и будет максимальной при проведении теоретических расчетов.

### 3. Проведение численных экспериментов

#### 3.1. Условия однозначности задачи

Математическая модель, используемая в рассматриваемых задачах, включает в себя балансовые уравнения энергии, движения и массы отдельных компонентов продуктов горения в форме Навье–Стокса. Для реализации математических моделей на ЭВМ был использован программный комплекс SOFIE [14], специально разработанный для моделирования пожаров Международным консорциумом научных и исследовательских организаций. Реализация процессов турбулентного переноса осуществлялась с помощью  $k-\epsilon$ -модели турбулентности, учитывающей эффекты плавучести, а процессов горения — диффузионно-вихревой модели Магнуссена–Хавьертагера [7, 9]. Для оценки образования сажи и ее распространения в объеме помещения использована модель Теснера [3]. При определении поправок давления и скоростей применена итерационная схема Патанкара и Спайдинга [2]. Все уравнения решались с помощью построчного алгоритма тридиагональной матрицы (ТДМА) [2]. При расчете скоростных, температурных и концентрационных полей использовалась трехмерная декартова система координат. Поля переменных определялись на совмещенной сетке.

#### 3.2. Результаты численных экспериментов работы системы струйной вентиляции и их анализ

В ходе теоретических исследований было проведено десять численных экспериментов. В 1–3-м расчетах моделировалась работа системы струйной вентиляции на примере двух последовательно расположенных струйных вентиляторов в помещении (автостоянке). Расстояние между вентиляторами принималось равным 20 м. При этом варьировалась скорость потока воздуха, выходящего из выбросных патрубков вентиляторов.

Площадь моделируемого помещения составляла 900 м<sup>2</sup>. Общее количество контрольных объемов — 67500 (90×15×50). Размеры струйного вентилятора принимались равными 3,0×0,4×0,4 м. Скорость потока воздуха, выходящего из выбросного патрубка струйного вентилятора, составляла 20 м/с для 1-го, 10 м/с для 2-го и 5 м/с для 3-го расчетов. В модели предусматривалось наличие отверстий вытяжной и приточной шахт. Очаг горения представлял собой прямоугольную горелку размерами 1,88×3,0 м. В качестве горючего использовалась

комплексная горючая нагрузка, приведенная для автомобиля (резина, бензин, ППУ, кожа, ПВХ и эмаль) [1]. Мощность тепловыделения была постоянной и равнялась 4165 кВт. Предполагалось, что в начальный момент времени расчетная область заполнена неподвижной газовой смесью (воздухом) с температурой 278,6 К. Расчеты проводились с временным шагом 0,1 с и сходимостью по разности масс 0,1%.

На рис. 4 и 5 показаны вертикальные профили скорости воздушного потока (в плоскости оси вентиляторов) на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка первого вентилятора соответственно. Профили скоростей приведены для момента времени 300 с от начала моделируемого процесса.

Скорость воздушного потока, выходящего из выбросного патрубка струйного вентилятора, варьировалась от 5 до 20 м/с.

Как видно из вышеприведенных профилей скорости, лучшие результаты получены при скорости потока воздуха, равной 20 м/с. Отрицательные значения скорости свидетельствуют о циркуляции воздуха (дыма) внутри помещения.

На рис. 6 и 7 показаны горизонтальные профили скорости воздушного потока для плоскости, отстоящей от уровня пола на 2,6 м и на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка первого вентилятора соответственно.

Профили скоростей не являются симметричными относительно оси вала вентилятора. Это объясняется тем, что в рассматриваемых задачах моделируется очаг горения, центр которого находится в плоскости оси вентиляторов, а также наличием отверстий в помещении для притока и вытяжки воздуха.

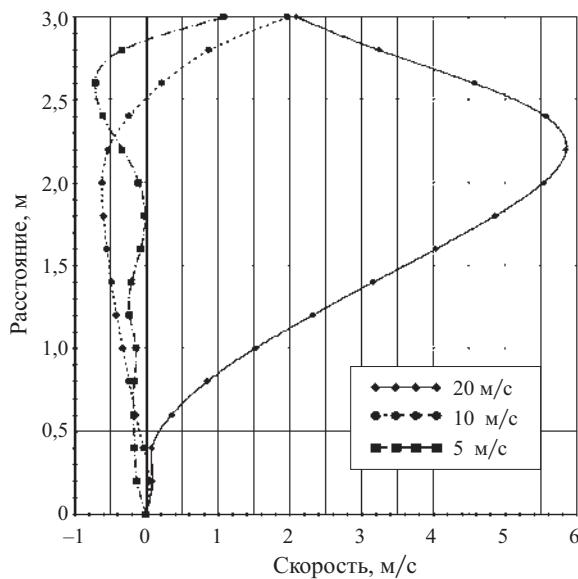


Рис. 4. Вертикальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

При скоростях воздушных струй 5 и 10 м/с ограничение распространения дыма происходит не в должной степени: при скорости струи 5 м/с над очагом горения наблюдаются отрицательные значения скоростей общего потока, что свидетельствует о распространении продуктов горения в направлении, противоположном направлению струй.

В 4–7-х расчетах моделировалась работа системы струйной вентиляции на примере двух последовательно расположенных струйных вентиляторов в помещении автостоянки. Расстояние между вентиляторами варьировалось от 10 до 40 м: 10 м в 4-м расчете, 20 м — в 5-м, 30 м — в 6-м и 40 м — в 7-м расчетах. Скорость на выбросных патрубках вентиляторов принималась постоянной и равной 20 м/с. Площадь моделируемого помещения составляла 700 м<sup>2</sup> в 4-м расчете, 900 м<sup>2</sup> — в 5-м, 1100 м<sup>2</sup> — в 6-м и 1300 м<sup>2</sup> — в 7-м расчетах. Остальные условия принимались, как и в первых трех расчетах.

На рис. 8 показаны горизонтальные профили скорости воздушного потока в плоскости оси вентиляторов на участке от выбросного патрубка первого вентилятора до входного патрубка второго вентилятора на расстоянии 2,6 м от уровня пола помещения. Профили скоростей приведены для момента времени 300 с от начала моделируемого процесса.

Согласно [15] в помещении шириной 20 м скорость воздушного потока должна составлять 1,4 м/с. Из рис. 8 видно, что скорость струи, выходящей из первого струйного вентилятора, меньшая

1,4 м/с, наблюдается на профиле скорости струи, когда расстояние между последовательно расположенным вентиляторами составляет 40 м.

Из сказанного можно сделать вывод о том, что расстояние между последовательно расположенным вентиляторами должно составлять при данных условиях не более 30 м.

В следующих трех расчетах моделировалась работа системы струйной вентиляции на примере четырех струйных вентиляторов в помещении автостоянки. Их расположение предполагалось в два ряда, в каждом ряду по два вентилятора. Расстояние между последовательно расположенными вентиляторами принималось равным 20 м. При этом варьировалось расстояние между параллельно расположенными вентиляторами: 10 м в 8-м расчете, 20 м — в 9-м и 30 м — в 10-м расчетах.

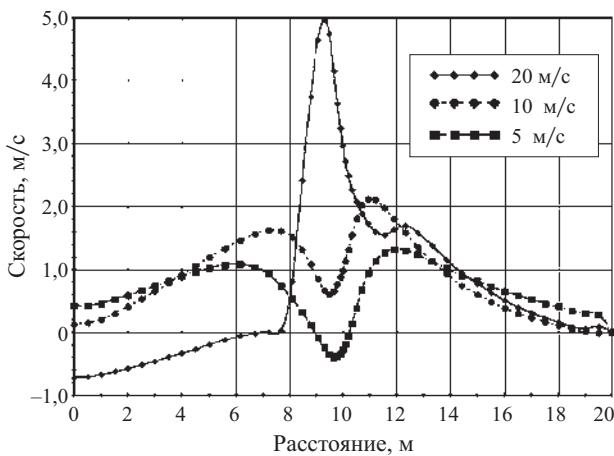


Рис. 6. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

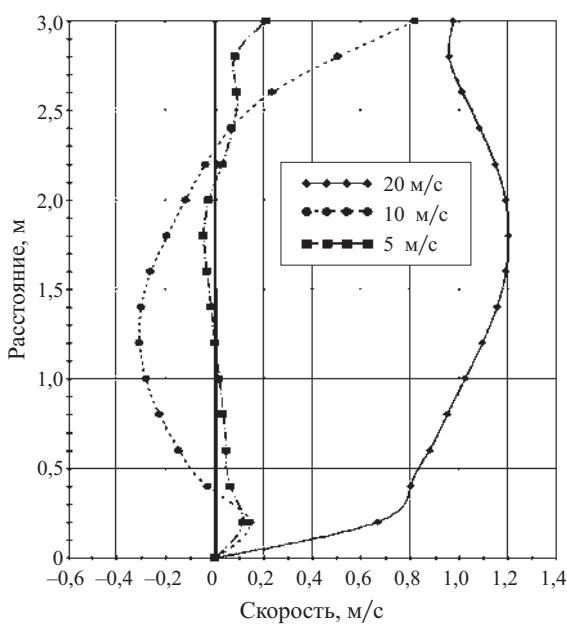


Рис. 5. Вертикальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

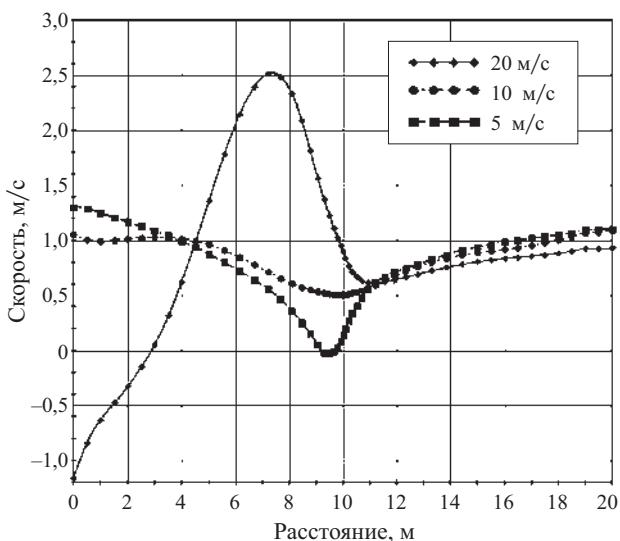


Рис. 7. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

Площадь моделируемого помещения составляла 1800 м<sup>2</sup>. Общее количество контрольных объемов 135000 (90×15×100). Остальные условия принимались, как и в первых трех расчетах.

На рис. 9 и 10 показаны горизонтальные профили скорости воздушного потока для плоскости, отстоящей от уровня пола на 2,6 м, на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка первого вентилятора

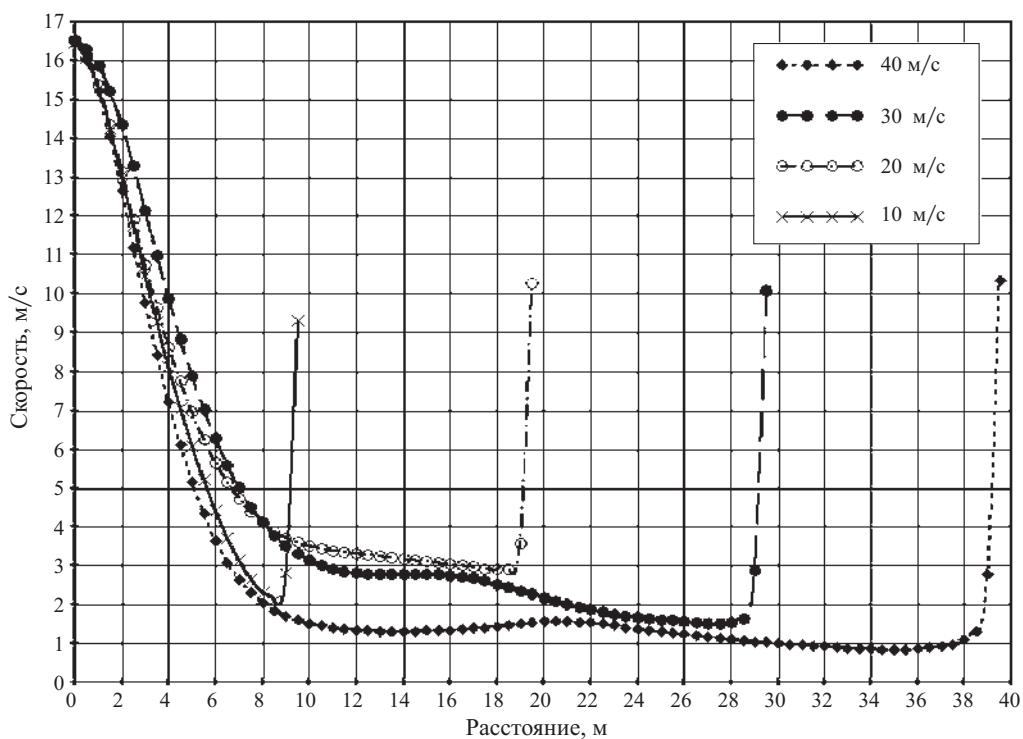


Рис. 8. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на участке от выбросного патрубка первого вентилятора до входного патрубка второго вентилятора

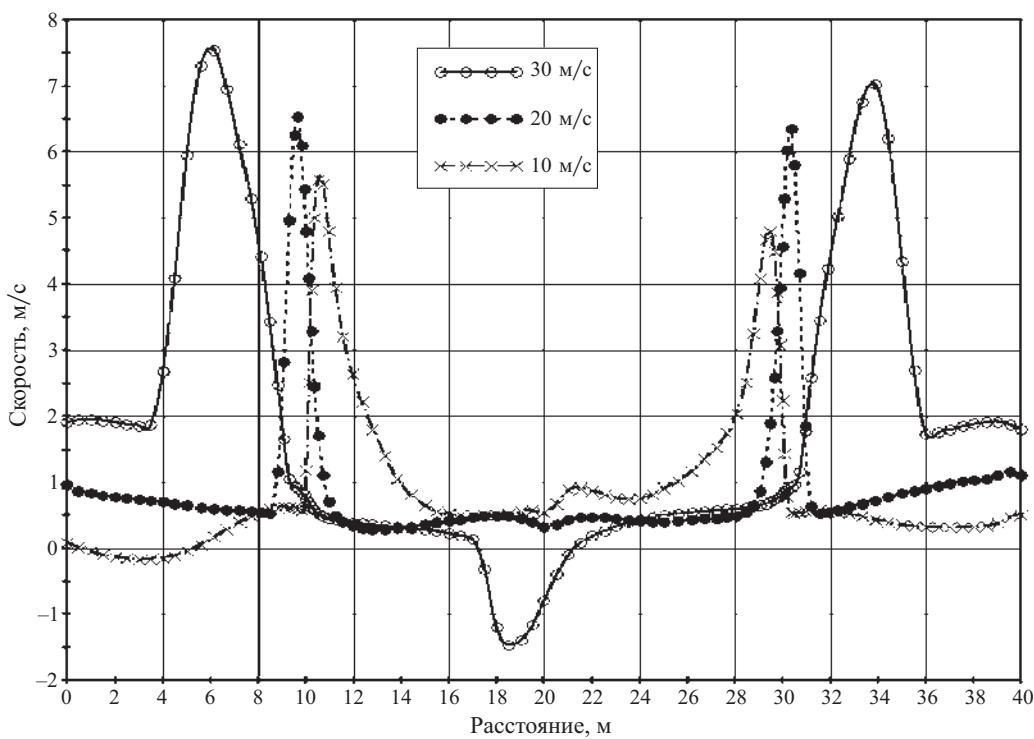


Рис. 9. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

соответственно. Профили скоростей приведены для момента времени 300 с от начала моделируемого процесса.

Из рис. 9 видно, что профили скоростей, соответствующие расстояниям между параллельно расположенным струйными вентиляторами 10 и 20 м, не имеют отрицательных значений в области помещения между этими вентиляторами, а профиль скорости, соответствующий расстоянию между параллельно расположенным струйными вентиляторами 30 м, имеет такие значения.

Из рис. 10 видно, что отрицательных значений не имеет только профиль скоростей, соответствующий расстоянию между параллельно расположенным струйными вентиляторами 10 м.

Из этого можно сделать вывод о том, что для эффективной работы системы струйной вентиляции расстояние между параллельно расположенным струйными вентиляторами при условиях данного эксперимента должно составлять 10 м.

### 3.3 Сравнение полученных результатов

Для проверки адекватности полученных в работе результатов было проведено их сравнение с аналитическими и численными расчетами других авторов [4, 11, 16], а также с экспериментальными данными [10, 12, 13].

Сравнение результатов проводилось для двух случаев. В первом случае рассматривалась работа системы струйной вентиляции на примере отдель-

но стоящего струйного вентилятора (рис. 11–14), во втором — двух параллельно расположенных струйных вентиляторов (рис. 15 и 16).

Аналитический расчет значений поля скорости затопленных турбулентных осесимметричных струй производился по формуле [4, 16]:

$$u^2 = U_\infty^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \left( \frac{k_{0i} D_i U_{0i}}{x - x_i} \right)^2 e^{-\frac{r_i^2}{k_i^2(x-x_i)^2}},$$

где  $U_\infty$  — средняя скорость потока, м/с;  $\alpha_i, k_{0i}, k_i$  — модельные константы;  $D_i$  — диаметр насадка, м;  $U_{0i}$  — скорость при выходе из насадка, м/с;  $x$  — координата по оси, м;  $x_i$  — координата начала отсчета струи, м;  $r_i$  — радиальная координата, м.

В ходе численных расчетов в работе [11] использовалась модель помещения автостоянки. Размеры моделируемых помещений, граничные и начальные условия задачи описываются в вышеуказанной работе. Величина тяги струйного вентилятора принималась равной 50 Н, а площадь поперечного сечения выбросного патрубка вентилятора — 0,09 м<sup>2</sup>.

Условия проведения экспериментов в помещении закрытой автостоянки описываются в работе [10].

На рис. 11 и 12 показаны вертикальные профили скорости воздушного потока в плоскости оси

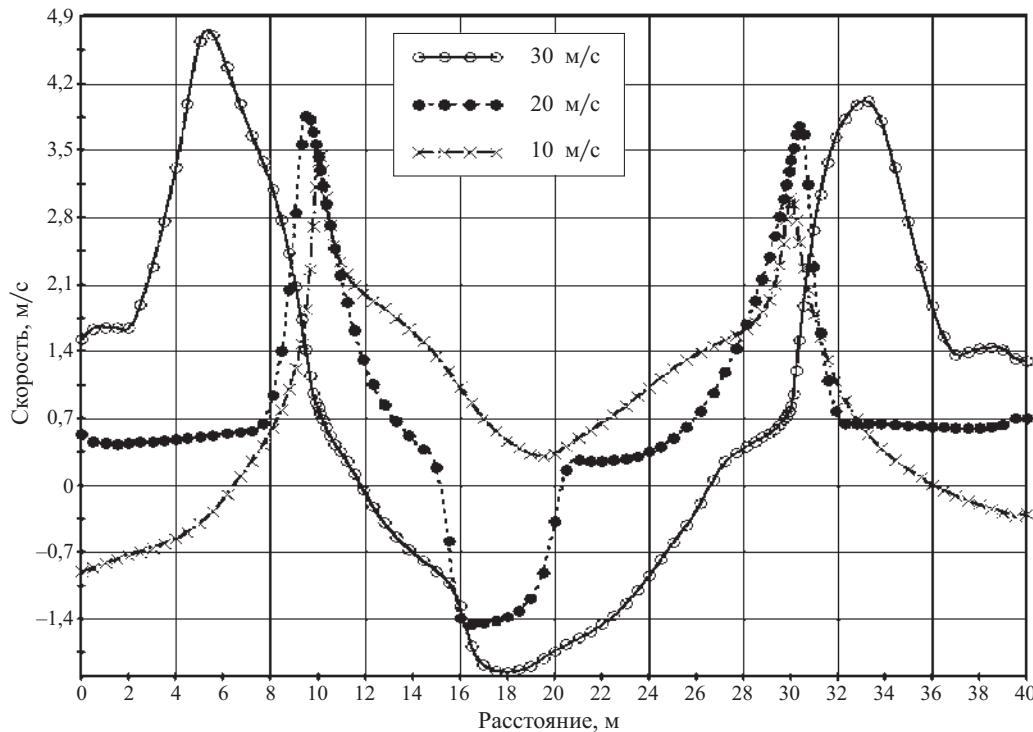


Рис. 10. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

вентиляторов на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка вентилятора соответственно. Расстояние по вертикали принято от потолка моделируемого помещения. Профиль с обозначением *result* соответствует профилю скорости, полученному в этой работе, *sim* — численному решению других авто-

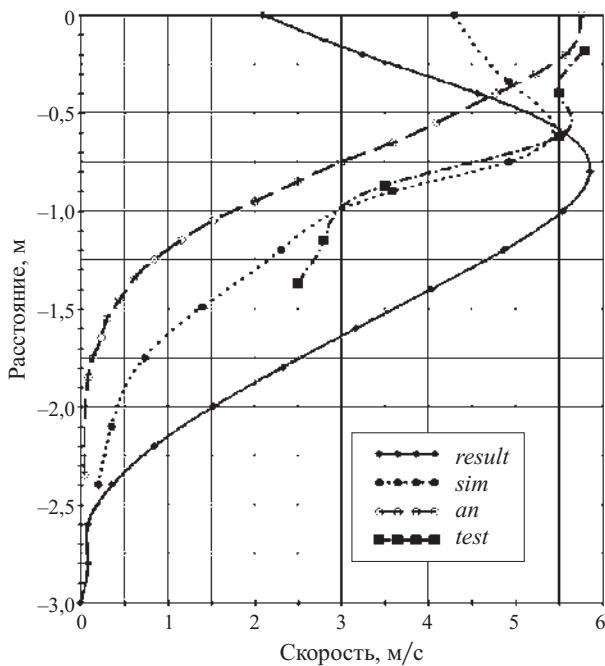


Рис. 11. Вертикальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

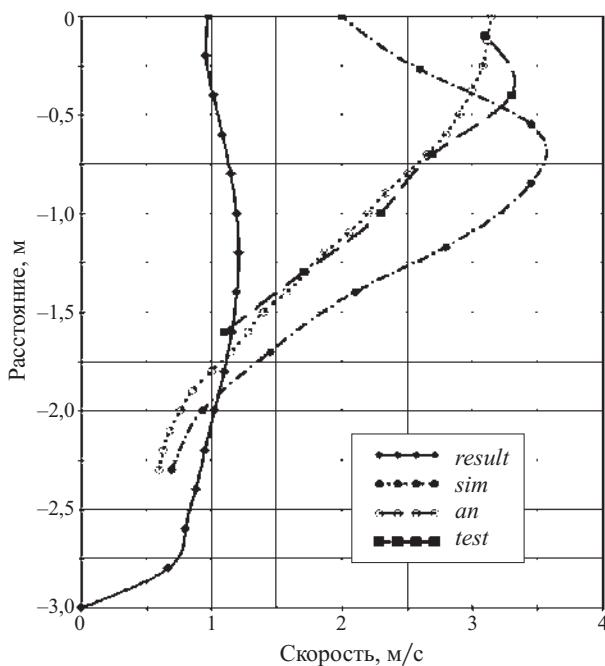


Рис. 12. Вертикальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

ров, *an* — аналитическому решению, *test* — показаниям в эксперименте. Эти же обозначения используются и на последующих рисунках.

На рис. 13 и 14 показаны горизонтальные профили скорости воздушного потока для плоскости, отстоящей от уровня потолка на 0,4 м, на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка вентилятора соответственно.

На рис. 15 и 16 показаны горизонтальные профили скорости воздушного потока для плоскости, отстоящей от уровня потолка на 0,4 м, на расстоянии 8 и 16 м от выбросного патрубка вентилятора соответственно. На нижеследующих рисунках рас-

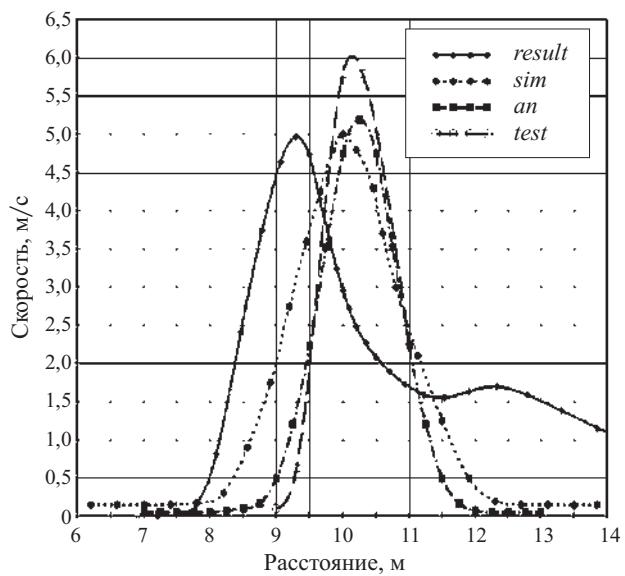


Рис. 13. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

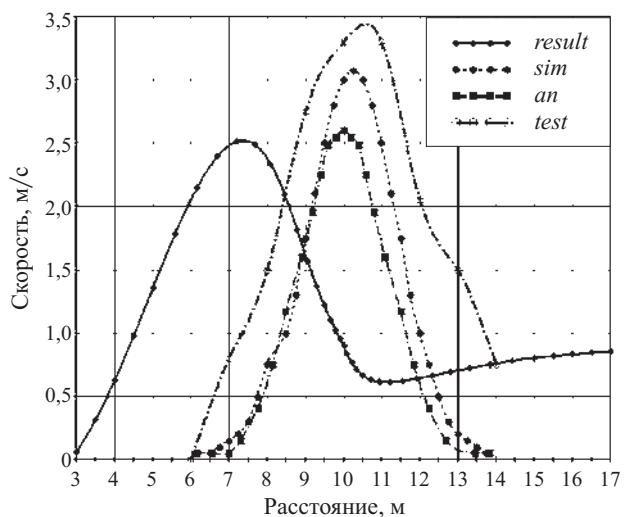


Рис. 14. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

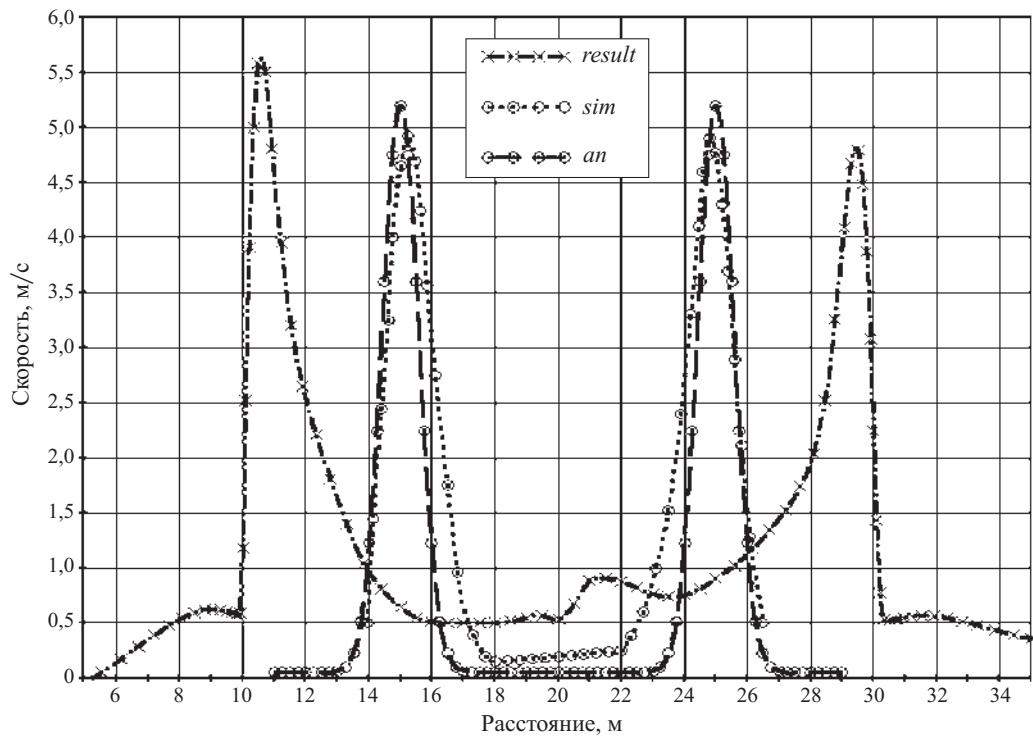


Рис. 15. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 8 м от выбросного патрубка вентилятора

сматривается работа системы струйной вентиляции на примере двух параллельно расположенных струйных вентиляторов.

На всех вышеприведенных рисунках наблюдается некоторое отличие в распределении и значениях скоростей воздушных потоков. Это отличие объ-

ясняется тем, что в тех задачах, откуда взяты данные для сравнения, не рассматривался и не учитывался очаг горения в отличие от задачи в данной публикации. Так, например, это заметно на рис. 12, на котором профиль скоростей *result* имеет несколько меньшие значения по сравнению с осталь-

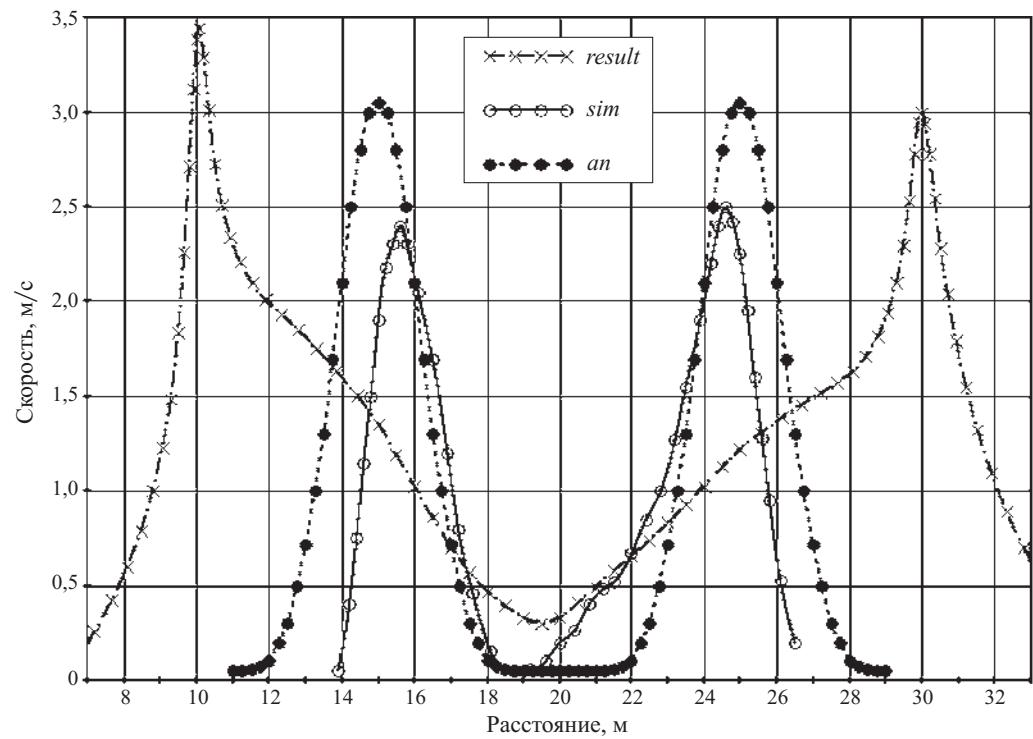


Рис. 16. Горизонтальные профили скорости воздушного потока на расстоянии 16 м от выбросного патрубка вентилятора

ными профилями. Или на рис. 15 и 16 в профиле скоростей *result* наблюдается смещение максимальных значений скоростей от центральной линии, так как между вентиляторами моделировалось горение автомобиля. В целом полученные авторами данные соответствуют данным из других работ. Картина работы системы струйной вентиляции, полученная на основе математического моделирования, соглашается с практической картиной.

### **Заключение**

1. На основе математического моделирования было осуществлено исследование работы сис-

темы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.

2. Выявлены основные закономерности при работе системы струйной вентиляции автостоянок закрытого типа.
3. Установлены параметры, обеспечивающие эффективную работу системы дымоудаления и вентиляции автостоянки закрытого типа при помощи струйных вентиляторов.
4. Проведено сравнение полученных в работе результатов с аналитическими и численными расчетами других авторов, а также с экспериментальными данными. Эти результаты вполне согласуются с опубликованными данными.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — С. 115.
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамика жидкостей. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — С. 150.
3. Теснер П. А. Образование сажи при горении // Физика горения и взрыва. — 1979. — № 2. — С. 3–47.
4. Blevins R. D. Applied fluid dynamics handbook // Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
5. Daley B. B. Woods Practical Guide to Fan Engineering // Fläkt Woods Ltd, Colchester, 1978, 3rd Edition.
6. Heselden A. J. M. Studies of Fire & Smoke Behaviour Relevant to Tunnels // CP66/78 Fire Research Station, Watford, UK, 1978.
7. Hjertager B. H., Magnussen B. F. Computer simulation of flow, heat transfer and combustion in three-dimensional furnaces // Arch. combust. — 1982. — V. 2, № 1/2S. — P. 23–48.
8. Fläkt Woods Ltd. Technical data sheet. Car Park Jet Thrust Fan [Электронный ресурс] / Fläkt Woods. — Электронные данные. — Colchester: Fläkt Woods, 2007. <http://www.flaktwoods.com>.
9. Magnussen B. F. and Hjertager B. H. On mathematical modelling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion // 16th Symp. (Int.) Combust. — The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1976. — P. 719–729.
10. Oerle, N. J. van, A. D. Lemaire, P. H. E. van de Leur, R. van Beek. The effectiveness of thrust ventilation in closed car parks. Fire tests and simulation. Version 2.1. — Delft: TNO, 1999.
11. Viegas J. C. The Use of Jet Fans to Improve the Air Quality in Underground Car Parks // Healthy Buildings 2006 Conference, Lisboa, Portugal, 2006.
12. Viegas J. C., Saraiva J. G. CFD Study of smoke control inside enclosed car parking // Interflam 2001, 9th International Fire Science & Engineering Conference. — Edinburgh: Interscience communications, 2001.
13. Viegas J. C., Saraiva J. G. Avaliação com recurso a CFD da aplicação de impulso a parques de estacionamento cobertos. Métodos Numéricos en Ingenieria V. — Madrid: SEMNI, 2002.
14. Welch S., Rubini P. SOFIE, Simulation of Fire in Enclosures: User Guide. — Cranfield University, England, 1996.
15. Wild J. A., Critchlow R. Fans in fire safety. Fume and smoke control in enclosed car parks. [Электронный ресурс] / FläktWoods, Fire Engineering Associates. — Электронные данные. — [England?]: Fire Engineering Associates, [2005?]. — (REF: FEA 001). <http://www.smoke-control.co.uk>.
16. Viegas D. Xavier. Uma técnica de erosão aplacada ao estudo da interacção de jastos turbulentos com uma superfície plana. — Coimbra, 1981.

Поступила в редакцию 14.05.07.



Д-р техн. наук, начальник кафедры "Общей и специальной химии" Академии ГПС МЧС РФ

**С. С. Воевода**



Директор департамента экологической и промышленной безопасности ОАО "НК "Роснефть"

**В. А. Маркоеv**



Соискатель  
Академии ГПС МЧС РФ

**A. B. Маркоеv**

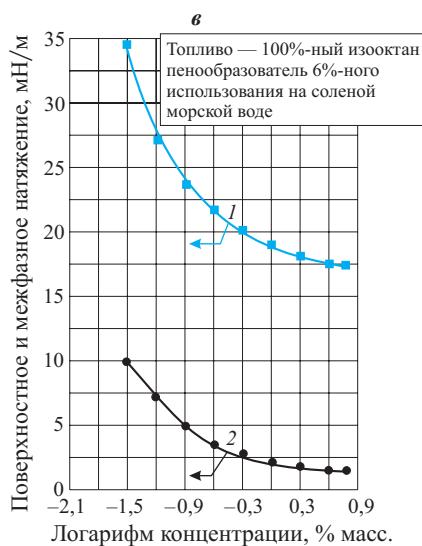
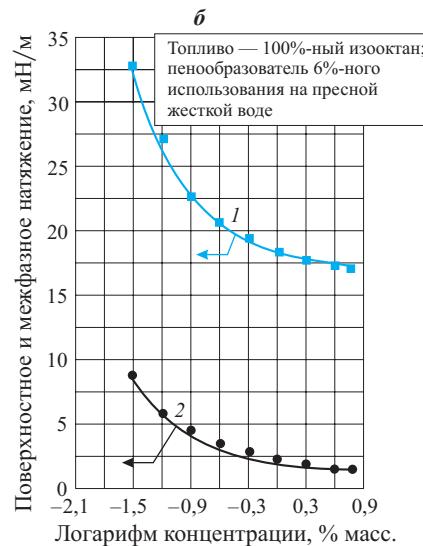
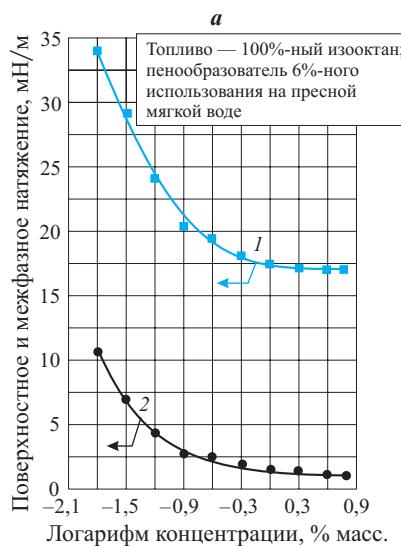
УДК 614.84.664

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА И ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРА ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕГО ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению поверхностного натяжения водных растворов фторсintетических пленкообразующих пенообразователей в зависимости от коллоидно-химических характеристик углеводородных топлив.

На огнетушащую эффективность противопожарной пены влияют коллоидно-химические характеристики топлив и рабочего раствора пленкообразующего пенообразователя. В Академии Государственной противопожарной службы МЧС России проведены исследования по определению влияния жесткости воды на коллоидно-химические характеристики рабочего раствора пленкообразующего пенообразователя по отношению к углеводородному топливу.

Приготовление водных растворов на пресной мягкой воде привело к резкому снижению межфазного натяжения для углеводородных топлив. Из рисунка *a* видно, что межфазное натяжение рабочего раствора на пресной мягкой воде на границе с изооктаном снизилось с 2,09 до 1,2 мН/м по сравнению с раствором на дистиллированной воде. Пресная жесткая вода ведет к дальнейшему снижению межфазного натяжения по сравнению с дистиллированной — с 2,54 до 1,42 мН/м на границе с гепта-



Зависимость поверхностного и межфазного натяжений водных растворов от концентрации пенообразователя

ном (см. рисунок б). Соленая морская вода, наоборот, обеспечивает увеличение межфазного натяжения (см. рисунок в).

Для анализа коллоидно-химических характеристик водных растворов по отношению к углеводородным топливам данные сведены в табл. 1–4. Они позволяют представить картину влияния состава углеводородного топлива и жесткости воды на основные коллоидно-химические показатели растворов пленкообразующих пенообразователей по отношению к углеводородным жидкостям.

В табл. 1 даны коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему водному раствору пленкообразующего пенообразователя в рабочей концентрации 6%, приготовленному на дистиллированной воде. Чистые гепттан и изооктан достаточно существенно различаются по величине поверхностного натяжения: для гептана оно составляет 20,28 мН/м, для изооктана — 18,9 мН/м. В связи с этим и наблюдается достаточно большое расхождение коэффициентов растекания раствора по горючему для данных углеводородов. Так, для гептана коэффициент растекания раствора пленкообразующего пенообразователя составляет 1,05 мН/м, для изооктана — 0,11 мН/м. Поэтому и в смесях изооктан – гептан для одного и того же раствора пленкообразующего пенообразователя существует такое различие в коэффициентах растекания раствора по горючему.

В табл. 2 представлены коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему водному раствору пленкообразующего пенообразователя в рабочей концентрации 6%, приготовленному на пресной мягкой воде. В этом случае по сравнению с дистиллированной водой произошел незначительный рост поверхностного натяжения рабочего раствора пенообразователя — с 16,7 до 16,88 мН/м. Вместе с этим отмечено двукратное снижение межфазного натяжения на границе углеводородная жидкость – раствор пенообразователя. Изменение поверхностной активности привело к росту коэффициента растекания раствора по горючему на величину ~0,7 мН/м во всех рассматриваемых случаях.

В табл. 3 приведены коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему водному раствору пленкообразующего пенообразователя в рабочей концентрации 6%, приготовленному на пресной жесткой воде. Здесь по сравнению с мягкой водой произошел рост поверхностного натяжения рабочего раствора пенообразователя с 16,88 до 17,33 мН/м. Вместе с этим наблюдалось незначительное снижение межфазного натяжения на грани-

**Таблица 1.** Коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему 6%-ному раствору пленкообразующего пенообразователя на дистиллированной воде

Топливо		Пенообразователь		
Состав, %	Поверхностное натяжение, мН/м	Натяжение, мН/м		Коэффициент растекания, мН/м
		поверхностное	межфазное	
0	100	18,90	16,70	2,09
2	98	18,90	16,70	2,09
5	95	18,97	16,70	2,13
8	92	18,97	16,70	2,13
20	80	19,05	16,70	2,20
24	76	19,12	16,70	2,24
100	0	20,28	16,70	2,54
				1,05

**Таблица 2.** Коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему 6%-ному раствору пленкообразующего пенообразователя на пресной мягкой воде

Топливо		Пенообразователь		
Состав, %	Поверхностное натяжение, мН/м	Натяжение, мН/м		Коэффициент растекания, мН/м
		поверхностное	межфазное	
0	100	18,90	16,88	1,20
2	98	18,90	16,88	1,20
5	95	18,97	16,88	1,22
8	92	18,97	16,88	1,23
20	80	19,05	16,88	1,27
24	76	19,12	16,88	1,31
100	0	20,28	16,88	1,72
				1,68

це углеводородная жидкость – раствор пенообразователя. Изменение поверхностной активности привело к снижению коэффициента растекания раствора по горючему во всех рассматриваемых случаях.

В табл. 4 представлены коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему водному раствору пленкообразующего пенообразователя в рабочей концентрации 6%, приготовленному на морской соленой воде. В данном случае по сравнению с пресной жесткой водой зафиксирован рост поверхностного натяжения рабочего раствора пенообразователя — с 17,33 до 18,15 мН/м. Вместе с этим произошел рост межфазного натяжения на границе углеводородная жидкость – раствор пенообразователя. Изменение поверхностной активности привело к снижению коэффициента растекания

**Таблица 3.** Коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему 6%-ному раствору пленкообразующего пенообразователя на пресной жесткой воде

Топливо		Пенообразователь			
Состав, %		Поверхностное натяжение, мН/м		Натяжение, мН/м	Коэффициент растекания, мН/м
гептан	изооктан	поверхностное	межфазное		
0	100	18,90	17,33	1,05	0,52
2	98	18,90	17,33	1,07	0,50
5	95	18,97	17,33	1,06	0,58
8	92	18,97	17,33	1,08	0,56
20	80	19,05	17,33	1,12	0,60
24	76	19,12	17,33	1,16	0,63
100	0	20,28	17,33	1,42	1,53

раствора по горючему во всех рассматриваемых случаях. Коэффициент растекания сохранил положительное значение только в случае, когда в качестве горючей жидкости использован гептан.

Анализ табл. 1–4 свидетельствует о неоднозначном влиянии жесткости воды на коллоидно-химические свойства водных растворов пленкообразующего пенообразователя по отношению к углеводородным жидкостям различного состава. Даже на примере межфазного натяжения можно сделать вывод о том, что постепенное увеличение жесткости воды приводит сначала к снижению межфазного натяжения, а затем к его росту.

**Таблица 4.** Коллоидно-химические характеристики углеводородных топлив без содержания спиртов по отношению к рабочему 6%-ному раствору пленкообразующего пенообразователя на соленой морской воде

Топливо		Пенообразователь			
Состав, %		Поверхностное натяжение, мН/м		Натяжение, мН/м	Коэффициент растекания, мН/м
гептан	изооктан	поверхностное	межфазное		
0	100	18,90	18,15	1,57	-0,82
2	98	18,90	18,15	1,57	-0,82
5	95	18,97	18,15	1,61	-0,78
8	92	18,97	18,15	1,61	-0,79
20	80	19,05	18,15	1,68	-0,78
24	76	19,12	18,15	1,72	-0,75
100	0	20,28	18,15	2,09	0,04

Таким образом, установлено неоднозначное влияние жесткости воды на пленкообразующую способность, характеризуемую скоростью растекания водной пленки по поверхности топлива. Снижение пленкообразующей способности для пены происходит в следующем порядке в зависимости от жесткости воды: пена, приготовленная на пресной мягкой воде → пена, приготовленная на пресной жесткой воде → пена, приготовленная на дистиллированной воде → пена, приготовленная на соленой морской воде.

Поступила в редакцию 16.04.07.



Начальник Управления ПБ ОАО  
“Московский станкостроительный  
 завод им. Серго Орджоникидзе”

**Н. А. Тощев**



Канд. техн. наук,  
доцент Академии ГПС  
МЧС России

**А. П. Андреев**



Д-р техн. наук, начальник  
кафедры “Общей и специальной  
химии” Академии ГПС МЧС РФ

**С. С. Воевода**



Ст. преподаватель кафедры  
“Общей и специальной химии”  
Академии ГПС МЧС РФ

**И. Н. Герасимова**

УДК 614.842.615

## ТУШЕНИЕ ГИДРОЛИЗУЮЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ПЕНОЙ

Исследован механизм тушения метилдихлорфосфита (МДХФт) пеной ОП-7 и количественно оценена эффективность тушения в зависимости от концентрации основных компонентов. Для математической обработки кривых тушения гидролизующихся горючих жидкостей предложена модель, отличная от разработанной для инертных горючих жидкостей.

**А**нализ токсического действия экологически опасных веществ показывает, что большинство из них проникает в организм человека прежде всего через органы дыхания, нанося при этом непоправимый урон здоровью и даже приводя к смерти [1]. Это значит, что одной из первоочередных задач при ликвидации аварийных ситуаций является предотвращение (или уменьшение) испарения веществ. Наиболее распространенным средством изоляции проливов опасных веществ служит воздушно-механическая пена (ВМП). В этой области задачи экологии и пожаротушения совпадают.

Возникает закономерный вопрос: если пролитая жидкость активно взаимодействует с водой, возможны ли эффективная изоляция и тушение таких проливов пеной? Не приведет ли подача пены к еще более тяжелым последствиям?

Для ответа на этот вопрос необходимо сначала классифицировать, хотя бы в первом приближении, опасные гидролизующиеся жидкости.

*Первую группу* опасных жидкостей характеризуется как легкообразующая пары (газы) и слабо взаимодействующая с водой (или вообще не взаимодействующая). В эту группу можно включить аммиак, бром, жидкий хлор, окись этилена, сероуглерод, синильную кислоту, хлорциан, хлорпикрин, этиленсульфид и др. Для веществ данной группы преобладающее значение имеет такой параметр пены, как изолирующая способность.

*Вторую группу* опасных веществ представляют жидкости, не обладающие высокой летучестью, но

энергично взаимодействующие с водой. К ней относятся галоидалкил(арил)силаны, тетрахлорид титана, алкилгалогениды кислот фосфора, тионилхлорид, хлорсульфоновая кислота, олеум и др. Данная группа веществ представляет наибольшую трудность при ликвидации последствий аварий, так как при контакте с водой и даже на воздухе вещества гидролизуются с выделением хлористого водорода и других токсичных газов, заражающих окружающую среду. Здесь при взаимодействии с водой часто наблюдаются вскипания, выбросы, самовоспламенение реакционной массы. Возможность применения ВМП в указанном случае находится под вопросом.

*Третью группу* веществ можно выделить по принципу агрессивности к ВМП. Так называемые *полярные* жидкости (или продукты их гидролиза) активно разрушают пену. К этой группе относятся, например, ацетонциангидрин, который взаимодействует с водой с образованием синильной кислоты и ацетона, и уксусный ангидрид, образующий уксусную кислоту с выделением большого количества тепла, и др. Возможность применения пены для этой группы жидкостей тоже вызывает сомнение, так как трудно добиться сколько-нибудь значительного накопления пены на поверхности жидкости (если пена не является специальной).

Барьер для использования водосодержащих средств тушения для галоидалкил(арил)силанов был преодолен после того, как экспериментально

установили [2], что выход продуктов гидролиза, среди которых немало горючих газов (водород, углеводороды), возрастает с увеличением количества воды до определенного предела. Это сделало принципиально возможным применение водопенных средств для горючих жидкостей такого типа.

Целью данной работы явилось исследование влияния контактной устойчивости пены (и, следовательно, состава пенообразователя) на эффективность тушения гидролизующихся элементоорганических жидкостей пеной, так как этот вопрос остался недостаточно исследованным.

### Хлорангидрид уксусной кислоты (ацетилхлорид)

В условиях проведения эксперимента ацетилхлорид (AX) устойчиво горит при 30°C. Пламя цвета морской волны, желтое у основания, без копоти.

При подаче на негорящий AX пены кратностью 50–60 на основе алкилсульфонатов, алкиларилсульфонатов, алкилсульфатов, ОП-7 и ОП-10 наблюдаются их разрушение (практически мгновенное) и разогрев горючего до кипения.

Время тушения AX пеной составляет 8–12 с и практически не зависит от типа пенообразователя и интенсивности подачи пены в интервале 0,119–0,496 л/(м<sup>2</sup>·с). Тушение происходит путем “отрыва” пламени, который можно обычно наблюдать при тушении пламен объемным способом.

### Хлорангидрид стеариновой кислоты

Температуры: плавления — 23°C, кипения — 202°C, вспышки — 182°C, воспламенения — 220°C, самовоспламенения — 252°C. Плотность — 915 кг/м<sup>3</sup>.

Горит желтым, коптящим пламенем. Подача ВМП вызывает вскипание, разгорание, перелив реакционной массы через край тигля. Особенно это характерно для пен на основе алкилсульфонатов, в меньшей степени — для алкилсульфатов. Тушение достигается за 35–10 с при интенсивности подачи 0,12–0,28 л/(м<sup>2</sup>·с).

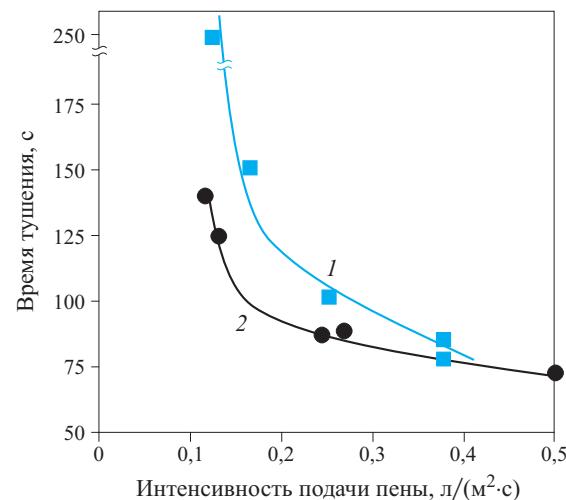
### Галоидалкилсиланы

Триметилхлорсилан (ТМХС) и триметилфторсилан (ТМФС) тушили в лабораторных условиях пеной различной кратности (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, огнетушащая эффективность в значительной степени зависит от состава пенообразующего раствора. Пена на основе оксиэтилированного поверхностно-активного вещества (ПАВ) заметно эффективнее, чем пены на основе алкилсульфатов и алкилсульфонатов. По степени возрастания эффективности тушения

**Таблица 1.** Опытные данные по тушению триметилхлорсилана и триметилфторсилана пенами в лабораторных условиях

Вещество	Пено-образователь	Интенсивность подачи, л/(м <sup>2</sup> ·с)	Время тушения, с	Интенсивность подачи, л/(м <sup>2</sup> ·с)	Время тушения, с
		Кратность пены			
		50–60	5–7		
ТМФС	ПО-ЗНП	0,21	24	0,30	35
	ПО-6ТЦ	0,21	42	0,30	Не тушит
	ОП-7	0,15	8	0,27	24
ТМХС	ПО-ЗНП	0,24	Не тушит	0,47	45
	ПО-6ТЦ	0,30	Не тушит	0,49	Не тушит
	ОП-7	0,17	30	0,22	27

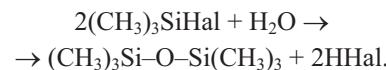


**РИС. 1.** Тушение ТМХС в полигонных условиях на площади 1,76 м<sup>2</sup>: 1 — ПО-ЗНП; 2 — ОП-7

ПАВ можно расположить в ряд: алкилсульфонаты < алкилсульфаты < оксиэтилированные ПАВ.

Лабораторные исследования подтверждены данными укрупненных испытаний по тушению ТМХС на площади 1,76 м<sup>2</sup> (рис. 1). Видно, что эффективность пены ОП-7 выше, чем ПО-ЗНП.

Основным продуктом гидролиза ТМФС и ТМХС является гексаметилдисилоксан (ГМДС):



Это означает, что с помощью ГМДС можно имитировать некоторые аспекты взаимодействия указанных веществ с пеной и получить дополнительные данные о механизме тушения (речь идет, прежде всего, о коллоидно-химическом взаимодействии).

ГМДС является нерастворимым в воде соединением, поэтому можно ожидать, что разрушение пены будет проходить по гетерогенному механизму.

Прежде всего следует оценить условия термодинамической стабильности пленок. Для этого рассмотрим поверхностную активность пенообразователей на границе раздела фаз вода – ГМДС, которая может быть выражена через величины межфазных напряжений (МН), определяемых методом счета капель с поправкой Гаркинса [3]. Данные измерений представлены в табл. 2, для сравнения в ней же помещены данные измерений МН на границе раздела вода – углеводород.

Величина МН на границе вода – ГМДС в 3–4 раза ниже, чем на границе вода – углеводород. Это оставляет для ПАВ меньше шансов проявить поверхностную активность, она для всех пенообразователей на границе раздела вода – ГМДС невелика. Так, величина МН на указанной границе фаз при добавлении ПАВ снижается в 6–10 раз, а для границы раздела вода – углеводород — в 20–30 раз. Абсолютная величина уменьшения МН на границе вода – углеводород в 2–3 раза больше, чем на границе вода – ГМДС. Таким образом, возможность возникновения метастабильных пенных пленок гораздо меньше в контакте с ГМДС, чем с углеводородами. Причем для ОП-10 эта величина несколько меньше, чем для ПО-6ТЦ и ПО-ЗНП. Единственный фактор, который может затормозить контактное разрушение пены, — стабильная эмульсия.

Оценим возможность образования эмульсии и ее устойчивость.

Для исследования эмульсий ГМДС в растворе пенообразователей (ПО) их получали методом встряхивания. На 10 мл раствора ПО брали 0,5 мл ГМДС. В случае ОП-10 эмульсия легко получалась без встряхивания при кратковременном нагревании до 40–50°C.

Устойчивость полученных эмульсий оценивали по скорости седиментации при комнатной температуре. Время седиментации составило: для ПО-6ТЦ — 5 ч; для ПО-ЗНП — 22 ч; для ОП-10 — более 20 суток. В случае ПО-6ТЦ и ПО-ЗНП образовывались рыхлые хлопьевидные осадки. ОП-10 в качестве эмульгатора, напротив, давал полупрозрачную опалесцирующую эмульсию. Наличие опалесценции показывает, что размер частиц эмульсии настолько мал, что становится соизмерим с длиной волны падающего света. При добавлении в раствор ОП-10 ортофосфорной кислоты (до 10%) оптическая плотность эмульсии заметно уменьшалась, т.е. возрастила степень дисперсности.

Таким образом, ОП-10 является для ГМДС эмульгатором, близким к оптимальному. В данном случае весьма велика возможность образования

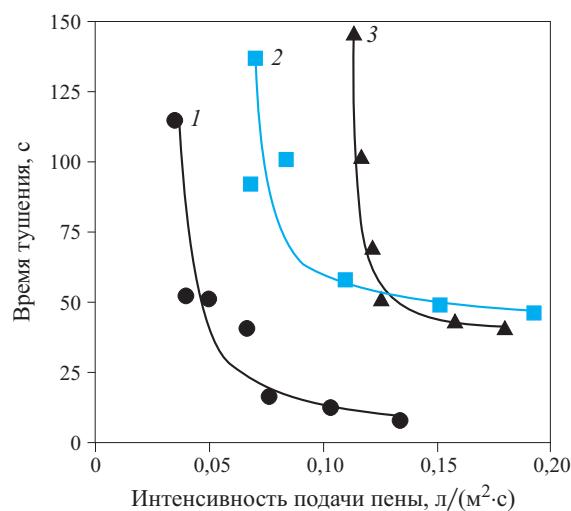
микроэмульсии. Можно ожидать, что пена будет относительно устойчива.

Рассмотрим экспериментальные данные по тушению ГМДС различными пенами в лабораторных условиях (рис. 2). Результаты использования пены ПО-6ТЦ, которая не тушит ГМДС при интенсивности менее  $0,2 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , не показаны, чтобы не усложнять рис. 2. Как видно, эффективность пены ОП-7 выше, чем алкилсульфата, а ОП-7 с добавлением 10%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  еще выше. Итак, огнетушащая эффективность пены изменяется в полном соответствии с возрастанием устойчивости эмульсии.

Таким образом, можно считать доказанным, что высокая огнетушащая эффективность пен ОП-7 (ОП-10) по отношению к ГМДС и галоидалкилсиланам непосредственно связана с образованием эмульсии. Эмульсионный механизм, правомерность

**Таблица 2.** Межфазное напряжение на границе раздела фаз и влияние на него ПАВ

Граница раздела фаз	МН, мДж/м <sup>2</sup>	Снижение МН, мДж/м <sup>2</sup>
Вода – гексан	45,0	
Вода – гептан	35,0	
Вода – бензол	30,0	
Вода – ГМДС	13,2	
ПО-6ТЦ – гексан	3,2	41,8
ПО-6ТЦ – гептан	2,8	32,2
ПО-6ТЦ – бензол	1,2	28,8
ПО-6ТЦ – ГМДС	1,2	12,0
ПО-ЗНП – ГМДС	1,2	12,0
ОП-10 – ГМДС	1,9	11,3



**Рис. 2.** Зависимость времени тушения ГМДС от интенсивности подачи пены на основе: 1 — ОП-10 + 10%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 2 — ОП-10; 3 — алкилсульфата

которого показана для разрушения пен углеводородами, справедлив и для галоидалкилсиланов.

Необходимо отметить, что при проведении полигонных испытаний по тушению ТМХС пеной ОП-7 на поверхности потушенного горючего наблюдалась мутная гелеобразная пленка (очевидно, микроэмulsionя ГМДС), которая предохраняла горючее от повторного воспламенения.

Согласно литературным данным, одним из факторов разгорания при тушении КОС является унос горючего. Очевидно, повышение степени дисперсности компонентов в процессе взаимопроникновения фаз способствует делокализации тепла и уменьшению интенсивности процесса уноса. Поэтому применение пен ОП-7 (ОП-10) и тех же пен с фосфорной кислотой сильно уменьшает эффект разгорания.

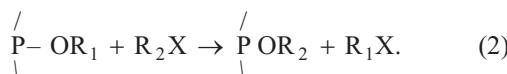
По-видимому, высокая эффективность пены "Универсальный-П" по отношению к галоидалкилсиланам имеет другую природу. Наличие в ее составе перфторированных ПАВ придает пенным пленкам термодинамическую устойчивость. Возможно в этом случае образуется эмульсия ГМДС, но она не оказывает существенного влияния на устойчивость пены и процесс тушения.

С позиций эмульсионного механизма стабилизации пены становится понятным влияние кратности пены на огнетушащую эффективность. Как видно из данных табл. 1, влияние состава пенообразующего раствора на эффективность в большей степени оказывается для пены средней кратности, чем низкой. Для пены средней кратности очевидно влияние дефицита пенообразователя, играющего роль стабилизатора эмульсий.

### Трихлористый фосфор

Трихлорид фосфора (ТХФ) — трудногорючая жидкость, но его контакт с водой или ВМП почти всегда приводит к самовоспламенению. В случае пен ОП-7 (ОП-10) этого не наблюдается. Таким образом, специфика взаимодействия пены на основе оксиэтилированных продуктов, отмеченная авторами для галоидалкилсиланов, имеет место и для алкилгалогенидов фосфора.

Характерным для соединений трехвалентного фосфора является переход в наиболее устойчивую форму — пятивалентный четырехкоординационный (типа перегруппировки Арбузова):



Реакция сопровождается выделением большого количества тепла. Скорость перегруппировки выше для радикалов с малым количеством атомов углерода [4].

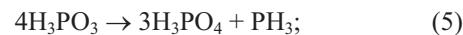
Гидролиз трихлорида фосфора образует фосфористую кислоту:



В присутствии воды она разлагается с образованием водорода:



При недостатке воды образуются токсичный фосфин и дифосфин [5]:



Последняя реакция возможна при комнатной температуре ( $\Delta G_0 = -17,8$  КДж/моль). Фосфин с примесью дифосфина способен самовозгораться на воздухе.

### Дифенилхлорфосфин

При подаче ВМП на негорящий дифенилхлорфосфин (ДФХФ) наблюдаются разогрев до вскипания и быстрое разрушение пены, самовоспламенение пены не происходит. Имеют место самопроизвольные воспламенения после тушения, при появлении "окна" в слое пены на поверхности жидкости.

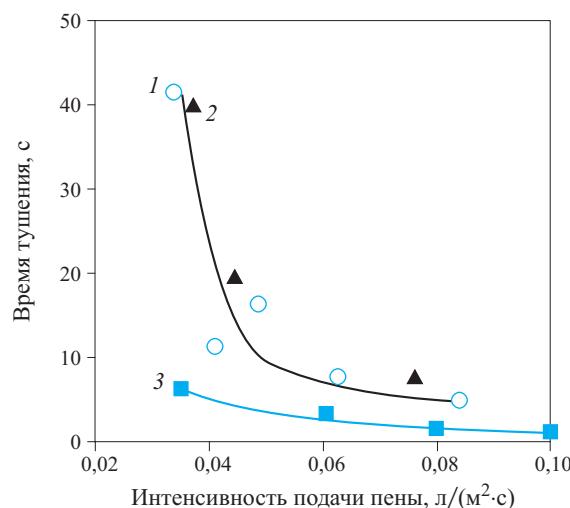
Для данного горючего также справедливо правило влияния природы пенообразователя на эффективность тушения и характер взаимодействия пены с горючим. Однако здесь картина противоположная: пены на основе ОП-7 и алкилсульфата менее эффективны, чем пены из алкилсульфоната.

Скорость контактного разрушения, оцененная по времени накопления пены, для алкиларилсульфоната в 10–15 раз меньше, чем для алкилсульфата. Температура в массе горючего под слоем пены алкилсульфата составляет 110°C, алкилсульфоната — всего 50°C.

Контакт пены алкиларилсульфоната с веществом сопровождается появлением гелеобразной массы зеленого цвета. Это может служить косвенным указанием на возможное образование микроэмulsionи, которая замедляет разрушение пены на основе этого пенообразователя.

Экспериментальные данные по тушению ДФХФ пенами представлены на рис. 3. Как видно, результаты тушения полностью соответствуют данным исследования скорости контактного разрушения. Пена на основе алкиларилсульфоната заметно эффективнее остальных пенообразователей.

Объяснение приведенного выше факта можно дать на основе эмульсионного механизма контактного разрушения пены. Так, наиболее устойчивая эмульсия в зоне контакта пены с горючим возникает в том случае, когда гидрофильно-липофильный ба-



**Рис. 3.** Зависимость времени тушения дифенилхлорфосфина пеной на основе: 1 — алкилсульфата; 2 — ОП-7; 3 — алкиларилсульфоната

ланс (ГЛБ) пенообразователя соответствует ГЛБ органической горючей жидкости. Наличие бензольного кольца в составе молекулы пенообразователя и двух бензольных колец в молекуле горючего обеспечивает достаточную однородность гидрофобных частей молекул ПО и горючего. Это дает возможность говорить о хорошем соответствии чисел ГЛБ.

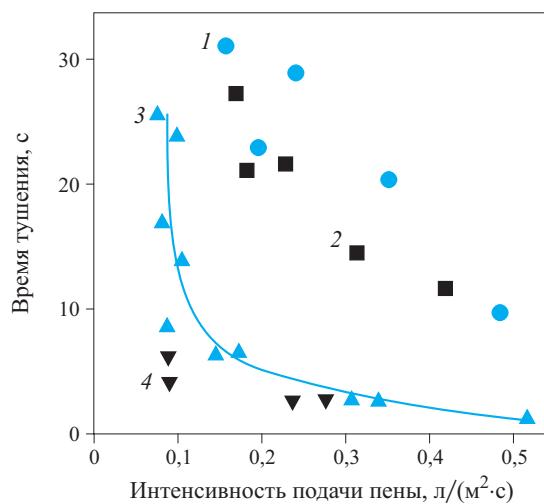
#### Метилдихлорфосфин

Тушение и поведение пен в контакте с метилдихлорфосфином (МДХФ) находятся в полном соответствии со спецификой, ранее представленной для трихлорида фосфора и галоидалкилсиланов.

Пены на основе всех пенообразователей, кроме ОП-7, ОП-10 и “Универсальный-П”, разрушаются на поверхности антиотензинконвертирующего фермента (АКФ) с большой скоростью. Так, при интенсивности подачи до 0,5 л/(м<sup>2</sup>·с) не наблюдалось накопления пены. При тушении происходило сильное разгорание (увеличение пламени по высоте и в диаметре), усиливалось дымообразование.

Время тушения пенами ОП-7 или “Универсальный-П” в несколько раз ниже, чем остальными ПО (рис. 4). Если подачу пены прекратить сразу же после исчезновения пламени, то пена некоторое время (15–30 с) сохраняется на поверхности горючего. Затем в слое пены появляется “окно”, в этот момент происходит самовозгорание.

Тушение остальными пенами не дает возможности наблюдать ни самовозгорание, ни принудительное воспламенение. Можно считать, что тушение всеми пенами, кроме оксиэтилированных ПАВ или ПО, содержащими перфторированные ПАВ, происходит путем полного гидролиза (или гидролиза и разбавления горючего его продуктами) и об-



**Рис. 4.** Экспериментальные данные по тушению метилдихлорфосфина пенами на основе: 1 — алкилсульфата; 2 — алкиларилсульфоната; 3 — ОП-7; 4 — “Универсальный-П”

разованияния негорючей массы. Поскольку процесс тушения указанными пенами проходит при разогревании, дымо- и газообразовании, то такой процесс можно назвать не тушением, а *дожиганием*.

Огнетушащая эффективность пены ОП-7 сравнима с эффективностью фторсодержащего состава “Универсальный-П”. Это дает возможность предположить, что механизм стабилизации этих пен имеет сходные черты. Специфическая устойчивость пен ОП-7 или ОП-10 связана не только со стабилизирующим действием микроЭмульсии, но и с образованием ПАВ, обеспечивающих относительно высокую устойчивость несимметричных пленок [6]. Такие ПАВ могут образоваться в результате химического взаимодействия ОП-7 с МДХФ.

Полученные данные позволяют классифицировать гидролизующиеся горючие жидкости по механизму тушения.

К *первой группе* относятся горючие жидкости, при гидролизе которых образуются негорючие летучие продукты. Из исследованных веществ к ним относится ацетилхлорид. Он тушится одинаково легко всеми пенами независимо от их состава. Можно заключить, что в данном случае речь идет о тушении пламени продуктом гидролиза — хлорводородом. Процесс гидролиза ацетилхлорида проходит без побочных явлений и образования горючих газов. Это позволяет достичь тушения при малых интенсивностях подачи.

К этой же группе можно отнести хлорангидрид стеариновой кислоты. Однако характер его тушения в некоторой степени зависит от типа пенообразователя: тушение пеной на основе алкилсульфатов проходит спокойно, а на основе алкиларилсульфонатов — сопровождается вскипанием и переливом горю-

чего через край тигля. По-видимому, здесь имеет место эмульгирование воды в массе горючего. Эмульгирование активизируется массопереносом при гидролизе, а роль эмульгатора выполняет пеногенератор. Хороший эмульгатор (алкилсульфат) приводит к образованию тонкой эмульсии, которая распределяется в массе горючего и способствует его равномерному охлаждению. Плохой эмульгатор (алкилсульфонат) позволяет получить грубую эмульсию. Относительно крупные капли воды вскипают в массе горючего и приводят к нежелательным явлениям — вскипанию, переливу.

*Вторая группа* включает горючие жидкости, интенсивно взаимодействующие с водой; при этом возможно образование газообразных горючих. Из исследованных жидкостей к этой группе относятся триметилхлорсилан и триметилфторсилан.

Несмотря на интенсивное взаимодействие с водой, зависимость эффективности тушения от природы пенообразователя для второй группы еще заметнее, чем для первой. Решающее значение имеет не химическое взаимодействие, а контактная устойчивость пены. Фторсодержащие пенообразователи

эффективны, очевидно, потому что в контакте с горючим могут образовывать термодинамически стабильные пенные пленки. Основой контактной устойчивости пен ОП-7, ОП-10 является эмульсионный фактор.

*Третья группа* включает горючие жидкости, самовоспламеняющиеся в контакте с водой (метилдихлорfosфин, дифенилхлорfosфин). Гидролиз приводит к образованию летучих горючих (fosфинов), к этому добавляется и высокая агрессивность к ВМП.

## Выводы

1. Для горючих, энергично взаимодействующих с водой, роль контактной устойчивости в тушении возрастает.
2. Устойчивая пена позволяет добиться тушения и уменьшить выброс газообразных горючих и токсичных веществ.
3. Перспективным направлением поиска огнетушащих составов является регулирование коллоидно-химических свойств и факторов, обеспечивающих, в частности, контактную устойчивость пены.

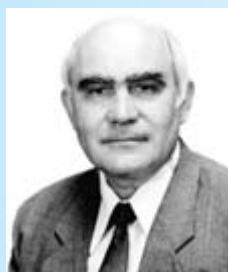
## ЛИТЕРАТУРА

1. Вредные вещества в промышленности. Органические вещества: Справочник / Под общ. ред. Э. Н. Левиной и И. Д. Гадаскиной. — Л.: Химия, 1985. — 551 с.
2. Беляев С. В., Долгов Э. И., Назаров Н. И., Сухов И. Я. Влияние гидролиза кремнийорганических соединений на их тушение // Горение и проблемы тушения пожаров: Материалы VII Все-союзной научно-практической конференции. — М.: ВНИИПО, 1981. — С. 15–18.
3. Шерман Ф. Эмульсии / Пер. с англ. // Под ред. А. А. Абрамзона. — Л.: Химия, 1972. — 448 с.
4. Пурдела Д., Вылчану Р. Химия органических соединений фосфора. — М.: Химия, 1972. — 302 с.
5. В. Ван Везер. Фосфор и его соединения. — М.: Иностранная литература, 1962. — 403 с.
6. Тощев Н. А., Каабак Л. В., Андреев А. П. Пенное тушение гидролизующихся соединений фосфора // Теоретические и экспериментальные основы пожаротушения: Сб. науч. тр. — М.: ВНИИПО, 1992. — С. 42–52.

Поступила в редакцию 01.03.07.



Начальник кафедры "Пожарно-профилактических дисциплин" Тольяттинского военного технического института  
А. В. Каришин



Профессор кафедры "Пожарно-профилактических дисциплин" Тольяттинского военного технического института  
А. М. Царев



Преподаватель кафедры "Пожарно-профилактических дисциплин" Тольяттинского военного технического института  
Д. А. Жуков



Преподаватель кафедры "Пожарно-профилактических дисциплин" Тольяттинского военного технического института  
Г. Г. Яковлев

УДК 614.842

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТВОЛОВЫХ УСТАНОВОК КОНТЕЙНЕРНОЙ ДОСТАВКИ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Рассматривается важная проблема обеспечения эффективности тушения пожаров с применением технических средств доставки огнетушащих веществ, особенно на удаленном расстоянии. Проведены исследования по созданию опытно-экспериментальной установки пожаротушения контейнерной доставки огнетушащих веществ метадом метания на удаленное расстояние (более 100 м).

**С**огласно статистическим данным [1] обстановка в связи с возникновением чрезвычайных ситуаций из-за пожаров за 2002–2006 гг. в Российской Федерации оставалась тяжелой (рис. 1).

За последние пять лет, несмотря на увеличение выделенных средств на обеспечение пожарной безопасности, снижение количества пожаров по сравнению с 2002 г. составило не более 15% и не привело к уменьшению объемов нанесенного материального ущерба. Более того, наблюдается рост материального ущерба и потерь (рис. 2). Это говорит, с одной стороны, об увеличении количества сложных и особо сложных пожаров за рассматриваемый период, с другой, о низкой эффективности современной пожарной техники для их ликвидации.

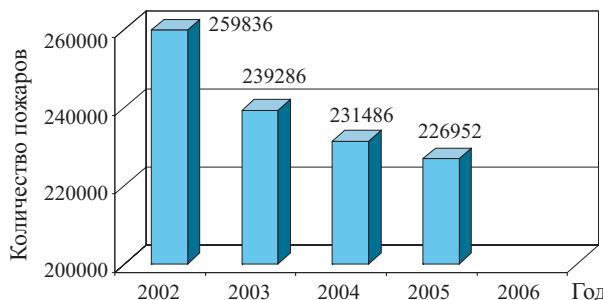


Рис. 1. Количество крупных пожаров в Российской Федерации за 2002–2006 гг.

Последние 5 лет ежегодно материальный ущерб от пожаров увеличивался в среднем на 1,12 млн руб., а в 2006 г. по сравнению с 2002 г. он возрос в 2,3 раза.

Число погибших при пожарах людей снизилось за 2002–2006 гг. на 14,27% (рис. 3), что может характеризовать возникновение крупных пожаров на различных объектах, складах, в лесных зонах, местах с небольшим скоплением людей.

При этом по числу погибших на тысячу пожаров Российская Федерация занимает первое место в мире, опережая по аналогичному показателю Англию в 38 раз, США — в 33 раза [1].

Наиболее характерными причинами сложной обстановки в обеспечении пожаробезопасности является малая эффективность существующей по-

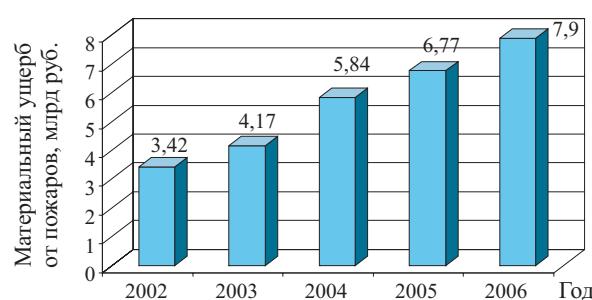


Рис. 2. Нанесенный материальный ущерб от пожаров в 2002–2006 гг.

жарной техники и технических средств доставки огнетушащих веществ (ОТВ), снижение показателей оперативного реагирования на возникающие пожары; большой износ пожарной техники; ухудшение обстановки на дорогах, затрудняющей проезд пожарной техники; возрастающая пожароопасность в промышленности, строительстве, на объектах энергетики, связи, транспорта, добычи и переработки полезных ископаемых, использование значительного количества пожароопасных веществ и соединений, прогрессирующий износ оборудования (в ряде отраслей износ основных фондов достигает 70–90%) [1].

Произошедшие за пять лет крупные пожары (на заводе резинотехнических изделий в Москве, в зданиях службы морского транспорта Министерства транспорта РФ, Театра Эстрады, арбитражного суда и др.) показали, что необходимо перевооружение пожарно-спасательных служб и подразделений пожарной охраны качественно новой техникой, позволяющей применять перспективные огнетушащие средства и подавать их на удаленное расстояние и большую высоту. Требуется создавать образцы технических средств доставки на удаленное расстояние, разрабатывая новые технологии пожаротушения.

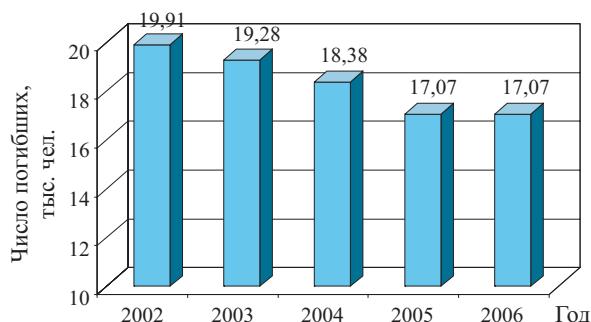


Рис. 3. Число погибших от пожаров людей за 2002–2006 гг.



Рис. 4. Проведение испытаний опытно-экспериментальной установки пожаротушения стволовой контейнерной доставки огнетушащих веществ на расстояния более 100 м

Для решения данной задачи были проведены работы при содействии Российского фонда фундаментальных исследований по созданию опытно-экспериментальной стволовой установки доставки методом метания контейнеров с огнетушащими веществами на удаленное расстояние (рис. 4).

Первоначально была создана опытно-экспериментальная установка с условным диаметром ствола 30 мм для метания контейнеров в виде капсул с последующим выходом на создание установки с диаметром 80 мм. Получены следующие результаты: дальность полета контейнеров — 104 м при угле наклона ствола 30°; давление, обеспечивающее воздушным компрессором, — 10 бар.

Уже на стадии проведения экспериментальных исследований полученные результаты дают полное основание отнести создание технических средств и методов контейнерной доставки к числу наиболее эффективных и безопасных способов и средств тушения пожаров на удаленном расстоянии. В этой связи достоинства и вопросы применения новых технических средств борьбы с пожарами рассматриваются и анализируются в сопоставлении с эффективностью применения известных в практике отечественного и зарубежного пожаротушения технических средств доставки огнетушащих веществ.

#### Классификация технических средств доставки ОТВ по признакам исполнения

В соответствии с общей классификацией существует широкий спектр технических средств доставки огнетушащих веществ для тушения пожаров (рис. 5).

Общий перечень классов технических средств доставки (рис. 5) помимо широко известных дополнен получающими развитие установками пожаротушения стволовыми (УПС), которые подразделяются на телескопические (УПСТ) [2] и контейнерной доставки огнетушащих веществ (УПСКД) [3].

К числу основных классификационных признаков исполнения технических средств доставки огнетушащих веществ относятся (рис. 6):

- мобильность и стационарность;
- степень автоматизации и тип управления;
- вид приводов, используемых для перемещения узлов и механизмов;
- способ подачи ОТВ;
- вид огнетушащих средств, доставляемых в очаг пожара;
- дальность подачи ОТВ.

Огнетушащие вещества, доставляемые техническими средствами в очаг пожара, охватывают широкий спектр: вода, пена, порошковые составы (ПС), огнетушащие инертные газы, аэрозолеобразующие

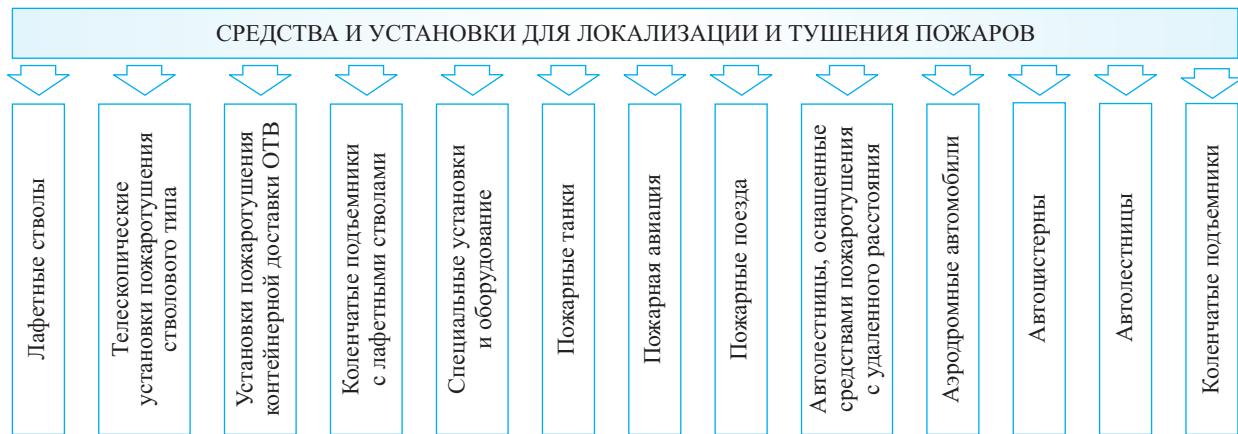


Рис. 5. Общая классификация технических средств доставки ОТВ для локализации и тушения пожаров



Рис. 6. Классификация технических средств доставки ОТВ по признакам исполнения

составы (АОС), хладоны и др. По способу образования энергии выброса огнетушащих веществ и подачи их в очаг пожара различают: доставку без использования пороховых зарядов, с использованием пороховых зарядов, с применением твердых и жидкого топлива. Эти способы определяют методы и дальность доставки ОТВ. Каждый из методов работает в соответствующем диапазоне дальности доставки и применяемых видов огнетушащих веществ.

### Методы доставки огнетушащих веществ

Технические средства пожаротушения реализуют различные методы доставки огнетушащих веществ различных видов (рис. 7). Тушение пожаров с помощью лафетных стволов, коленчатых подъемников, автолестниц осуществляется с применением воды и пены.

На рис. 7 к поточным отнесены методы, обеспечивающие непрерывную подачу потоком в виде сплошной массы огнетушащего вещества (воды, пенных растворов, газа, ПС). Данные методы реа-

лизуются с применением таких технических средств доставки, как лафетные стволы, водяные пушки, установки типа "Пурга" и телескопического типа, автолестницы, коленчатые подъемники и др. Но, как правило, рассмотренные средства служат для доставки воды, или пены, исключая применение и доставку других видов огнетушащих веществ.

К контейнерным отнесены методы метания огнетушащих веществ в контейнерах, например с применением УПСКД. Бомбовые методы осуществляются с использованием вертолетной и авиационной техники. Импульсные методы доставки огнетушащих веществ являются широко распространеными и применяют специальную технику, такую как: импульсная пожарная установка "Импульс Шторм"; струйная система высокого давления на базе реактивного двигателя (BASF, Германия); автоматическая система импульсного пожаротушения UIS-48S; ранцевая установка пожаротушения (РУПТ-1-0,4 "Игла"); устройство пожаротушения ранцевое "ВИТЯЗЬ УПТ 10/1(0,4) (УИП-2)"; про-

	Технические средства, не использующие пороховые заряды		Технические средства, использующие пороховые заряды		Технические средства, использующие твердые и жидкые топлива	
МЕТОД	Поточный	Контейнерный	Бомбовый	Бросания	Импульсный	Снарядный
<b>ОТВ</b>	Возможность доставки ОТВ					
Вода	+	-	-	-	-	-
Пена	+	-	-	-	-	-
ПС	+	+	-	-	-	-
Газ	+	+	+	+	+	+
Хладон	-	+	-	-	-	-
АОС	-	+	-	+	-	+

**Рис. 7.** Классификация методов доставки в зависимости от применяемых огнетушащих веществ (метод обеспечивает (+) или не обеспечивает (-) доставку ОТВ)

тивопожарный комплекс “ГЕЙЗЕР-05”. Метод бросания обеспечивается в основном ручным забрасываемым огнетушителем, начиненным порошковыми (ручное импульсное средство пожаротушения ЛОТОС-2Д) или аэрозолеобразующими (МАГ-4Г ГОА, МАГ-5/1Г ГОА, МАГ-5/2Г ГОА, МАГ-3Г ГОА, АСТ-Соболь, АСТ-Соболь 60, АГС-5, АГС-5М и др.) огнетушащими составами.

Самое широкое применение нашли технические средства и методы доставки огнетушащих веществ, не использующие пороховые заряды. Технические средства с использованием пороховых зарядов, твердых и жидких топлив предъявляют высокие требования по их хранению, транспортировке, применению, являются дорогостоящими.

Наиболее эффективным по универсальности доставки огнетушащих веществ является контейнерный метод. Он охватывает наиболее полно методы доставки различных видов огнетушащих веществ, существующие в настоящее время.

### Дальность доставки ОТВ – основа обеспечения безопасности и эффективности тушения пожаров

Большую роль в успешной ликвидации пожара играет безопасность личного состава противопожарных подразделений при организации боевых действий по тушению очага возгорания. Данный фактор обеспечивается показателями дальности доставки огнетушащего вещества. Понятие *удаленное расстояние доставки* определяется как расстояние, на котором необходимо тушить сложные и особо сложные пожары с помощью наземно расположенных технических средств (это расстояния составляет более 100 м) с рабочим диапазоном доставки ОТВ 100–250 м. Диапазон 250 м и более для средств пожаротушения наземного расположения можно рассматривать как диапазон доставки огне-

тушащих веществ *на дальние расстояния*. Расстояние доставки до 100 м считается ближним. Подача огнетушащих веществ с удаленного расстояния и на дальние расстояния позволяет предотвратить поражающее воздействие опасных факторов пожара и их вторичных проявлений на личный состав. Особенно это важно при тушении пожаров на крупных объектах повышенной взрыво- и пожароопасности: емкости, резервуары с нефтепродуктами и горючесмазочными материалами; объекты нефте- и газодобычи; скважины нефтяных и газовых месторождений; объекты нефтехимии и объекты химических производств; склады и хранилища; леса, лесные насаждения, природоохранные объекты; взрывопожароопасные объекты открытого и закрытого типов; радиарные и астрофизические объекты, высотные объекты ПВО; сооружения наземные, подземные и шахтного типа; пусковые установки и стартовые системы вывода в космос летательных аппаратов; многоэтажные строения, здания и сооружения, гостиницы, жилые дома; склады и хранилища заводов и предприятий с горючими, отравляющими, химически и взрывоопасными веществами; оборудование атомных электростанций; объекты аэродромов и ангаров при авиационных катастрофах; энергетические установки; плавучие базы, военные корабли, нефтеналивные суда и нефтедобывающие платформы и т.д.

Максимальную дальность доставки огнетушащих веществ в настоящее время способны обеспечить технические средства наземного расположения, использующие реактивный снарядный метод с применением твердых и жидких топлив.

Так, например, во Франции эксплуатируется самоходная противопожарная батарея реактивных снарядов при тушении лесов, кустарника и зерновых культур, в местах, где необходимо быстро ограничить распространение пожара. Реактивные сна-

ряды работают на твердом топливе и имеют дальность полета 200–1500 м. При ударе снаряда о землю огнетушащий состав, содержащийся в его головной части, покрывает площадь тушения.

Российскими учеными прорабатывался способ [4] выстреливания гранат с порошковыми или аэрозолеобразующими составами при помощи ручных и переносных гранатометов, способных доставлять огнетушащие вещества на расстояние до 300 м. Существенным недостатком данного метода является повышенная опасность при использовании снарядов с пороховыми зарядами, поэтому в настоящее время это направление развития пожарной техники, осуществляющей доставку огнетушащих веществ на удаленные и дальние расстояния, несет угрозу поражающих факторов при разрыве или разрушении снаряда.

Рассмотрим дальность доставки огнетушащих веществ техническими средствами, обеспечивающими более высокую безопасность при ее использовании, чем снарядный метод. В табл. 1 представлены запатентованные, разрабатываемые и имею-

щиеся в настоящее время на рынке противопожарного оборудования устройства для тушения пожаров наземного расположения. Проведем сравнение максимальной дальности доставки для различных огнетушащих составов.

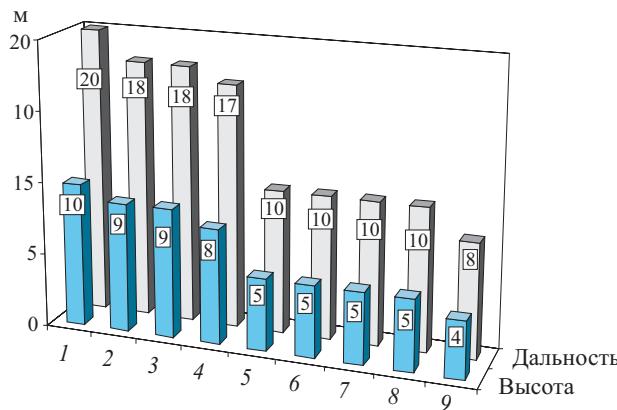
Сравнительные данные табл. 1 показывают, что максимальной дальностью доставки огнетушащих веществ (от 50 до 250 м) могут обладать технические средства контейнерного метода доставки из числа технических средств наземного расположения и не использующих пороховые заряды. Огнетушащее вещество помещается в контейнер в виде капсулы, имеющей обтекаемую форму, что позволяет достичь максимальной дальности метания контейнера.

За контейнерным методом по дальности доставки с ограниченным набором огнетушащих веществ (вода, пена) следуют поточные методы. С их использованием возможно достичь дальности доставки воды и пены, как правило, в пределах до 100 м, порошковых огнетушащих составов — до 70 м.

**Таблица 1.** Максимальная дальность доставки огнетушащего вещества техническими средствами, использующими различные методы

Метод	Техническое средство	Максимальная дальность доставки огнетушащего вещества, м					
		Вода	Пена	Газ	ПС	Хладон	АОС
Контейнерный	Установка стволовая контейнерной доставки OTB* (воздушно-вихревой способ)	—	—	250	250	250	250
	“ИСТА-100М” “ФИЛИН-1” (пневмо-импульсный способ)	—	—	—	100	—	100
	“ГЕЙЗЕР-05” (пневмо-импульсный способ)	—	—	—	25		55
Импульсный	Струйная система высокого давления на базе реактивного двигателя (BASF, Германия)	—	—	—	120	—	—
	Импульсная пожарная установка “Импульс Шторм”	—	—	50	50	—	—
	Автоматическая система импульсного пожаротушения UIS-48S	—	—	—	30	—	—
	Ранцевая установка пожаротушения (РУПТ-1-0,4 “Игла”)	15	—	—	—	—	—
	Устройство пожаротушения ранцевое “ВИТЯЗЬ УПТ 10/1(0,4) (УИП-2)”	10	—	—	—	—	—
	“ГЕЙЗЕР-05”	12					
Поточный	Установка комбинированного тушения “Пурга 120”	80	100	—	—	—	—
	Установка реактивного газоводяного тушения JFR-250	70	—	70	—	—	—
	Лафетные стволы	100	70	—	70	—	—
	Генераторы пены	80	100	—	—	—	—
	Водопенная пушка вертолета Ка-32А	45	45	—	—	—	—

*Примечание. В табл. 1 и далее по тексту: \* — в стадии эксперимента.*



**Рис. 8.** Характеристики забрасываемых вручную огнетушителей с огнетушащими веществами: 1 — РИСП ЛОТОС Д-2; 2 — МАГ-5/2Г ГОА; 3 — МАГ-3Г ГОА; 4 — МАГ-5/1Г ГОА; 5 — АСТ-Соболь 60; 6 — АГС-5; 7 — АГС-5М; 8 — МАГ-4Г ГОА; 9 — АСТ-Соболь

Наименьшую дальность доставки огнетушащих веществ способен обеспечить импульсный метод — до 30 м. Сравнительно небольшая дальность полета огнетушащего вещества объясняется резким распылением его после вылета из установки. Однако сильное распыление огнетушащего заряда в зоне горения играет положительную роль в успешном подавлении процесса горения с применением импульсного метода при тушении пожаров на небольших (до 30 м) расстояниях. К тому же установки, использующие импульсный метод доставки огнетушащих веществ, способны выбрасывать большое количество огнетушащего вещества в единицу времени на единицу площади, что является основополагающим фактором для быстрой локализации и успешного тушения пожара.

На рис. 8 представлена диаграмма, отображающая дальность и высоту доставки ручных забрасываемых огнетушителей с порошковым или аэрозолеобразующим составом, которую можно достичь усилием человека.

Как видно из рис. 8, наибольшей дальности и высоты (20 и 10 м соответственно) возможно достичь, используя ручное импульсное средство пожаротушения РИСП ЛОТОС Д-2. Это объясняется формой устройства доставки в виде гранаты, вследствие чего и обеспечивается удобство метания. Однако забрасываемые вручную огнетушители из-за близкой дальности бросания не дают возможность тушения пожаров на удаленном расстоянии.

### Эффективность применения технических средств пожаротушения и методов доставки ОТВ

Для порошковых составов коэффициент эффективности использования ОТВ пожарной техникой можно оценить из соотношения [5]:

$$K_{ef} = Q/SIM, \quad (1)$$

где  $Q$  — среднее значение расхода ОТВ на тушение пожара, обеспечиваемое техническим средством, кг/с;

$S$  — максимальное значение огнетушащей способности,  $\text{м}^2/\text{кг}$ ;

$I$  — оптимальное значение интенсивности подачи ОТВ на тушение,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

$M$  — запас ОТВ, кг.

Результаты сравнительной оценки технических средств, подающих порошковые составы, отображе-

**Таблица 2.** Характеристики технических средств, подающих порошковые составы

Техническое средство	Запас ОТВ, кг	Максимальный расход ПС, кг/с	$K_{ef}$
<i>Поточным методом</i>			
АП-5 мод. 196 АЗ “Пожмашина” (г. Прилуки, Украина), 1982 г.	6000	50	0,05
АП-мод. 222 ПО “Пожмашина” (г. Прилуки, Украина), 1991 г.	4000	115	0,16
АП-4000-50 ОАО “Газоструйдеталь” (г. Тула), 1998 г.*	4000	50	0,07
АП-5000-50 ОАО “Пожтехника” (г. Торжок), 2000 г.*	5000	55	0,06
АП-1000-40 ПО “Берег” ФГУ ВНИИПО (Московская обл.), 2003 г.	1000	40	0,23
ГроЛФ 5000 (Германия)	5000	50	0,06
Биокарбо 6000 (Франция)	6000	66	0,06
Модуль пожарный порошкового пожаротушения УПТ-600М “Ураган”	600	30	0,28
Пожарный снегоболотоход ТТМ-3902ПЖ	700	30	0,24
<i>Импульсный метод</i>			
Импульсная пожарная установка “Импульс Шторм”	3000	300	0,57
<i>Контейнерный метод</i>			
УПСКД*	600	32	0,30

ны в табл. 2. Принято в соответствии с данными [5]:  $S = 0,88 \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  $I = 0,2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Из табл. 2 видно, что максимально эффективного использования порошковых составов можно добиться применением импульсных и контейнерных методов. Так, у импульсной пожарной установки "Импульс Шторм" коэффициент составляет 0,57 за счет большого расхода огнетушащего вещества (300 кг/с). Однако последнее приводит к скоротечности работы и обязывает за пять залпов обеспечить эффективный процесс тушения (для расхода 300 кг/с — 5 с). Так как общая масса выстреливаемого за пять залпов порошкового состава равна 1500 кг, а масса возимого установкой состава составляет 3000 кг, то запаса ОТВ хватает на десять залпов. При этом требуется значительное время для перезарядки после пяти залпов и осуществления новых залпов — 15 мин.

Столовая установка пожаротушения контейнерной доставки имеет коэффициент эффективности использования огнетушащего вещества 0,3, что на 7–23% выше, чем при использовании поточного метода. К тому же УПСКД обеспечивает непрерывную поштучную подачу контейнеров.

### Обеспечение непрерывности подачи ОТВ средствами пожаротушения

Важнейшей задачей успешного тушения пожара является обеспечение непрерывной подачи ОТВ в очаг пожара на протяжении всего времени тушения либо сплошным потоком, либо дискретно. Если при тушении водой непрерывности возможно добиться посредством подключения к водопроводной сети противопожарного назначения, то при использовании в настоящее время более эффективных порошковых огнетушащих составов после кратковременного тушения возникает необходимость перезарядки технического устройства огнетушащим зарядом, что ухудшает его эксплуатационные характеристики.

Проанализируем возможность непрерывной подачи огнетушащего вещества различными методами и техническими средствами (табл. 3).

Параметр возможности непрерывной подачи ОТВ  $P_{NP}$ , кг·шт/с, пожарной техникой можно оценить из соотношения:

$$P_{NP} = \frac{m}{\tau} N, \quad (2)$$

где  $m$  — максимальная масса одного заряда ОТВ, кг;

**Таблица 3.** Характеристики технических средств, подающих порошковые составы

Техническое средство	Применяемое ОТВ	Частота одиночной подачи, с	Максимальная масса одного заряда, кг	Количество непрерывно выполняемых выстрелов	$P_{NP}$ , кг/с
<i>Импульсный метод, носимые технические устройства</i>					
Устройство пожаротушения ранцевое СПИ "ВИТЯЗЬ УПТ 10/1(0,4) (УИП-2)"	Вода	5	1,25	8	2
Устройство пожаротушения ранцевое СПК "ВИТЯЗЬ УПТ 10/1(0,4) (УИП-2)"	Вода	25	0,4	8	0,128
Устройство импульсного пожаротушения "Тайфун 1-10"	Вода	5	1	10	10
РУПТ-1-0,4 ("Игла")	Вода	5	1	100	100
Импульсная установка IFEX	Вода	5	1,25	8	2
<i>Импульсный метод, возимые технические устройства</i>					
Импульсная пожарная установка "Импульс Шторм"	ОПС	5	300	5	300
Автоматическая система импульсного пожаротушения UIS-48S	ОПС	5	2	5	10
<i>Контейнерный метод, носимые технические устройства (пневмоимпульсный способ)</i>					
"ИСТА-100М"	AOC	20	0,7	5	0,175
"ФИЛИН-1"	AOC	20	0,5	10	0,25
Противопожарный комплекс "ГЕЙЗЕР-05"	ОПС AOC	5	0,3	20	1,2
<i>Контейнерный метод, возимые технические устройства (воздушно-вихревой способ)</i>					
УПСКД*	ОПС, АОС, хладон, газ	5	1,3	Не ограничено <sup>1</sup> при $N=1150$	300

<sup>1</sup> Ограничивается наличием контейнеров.

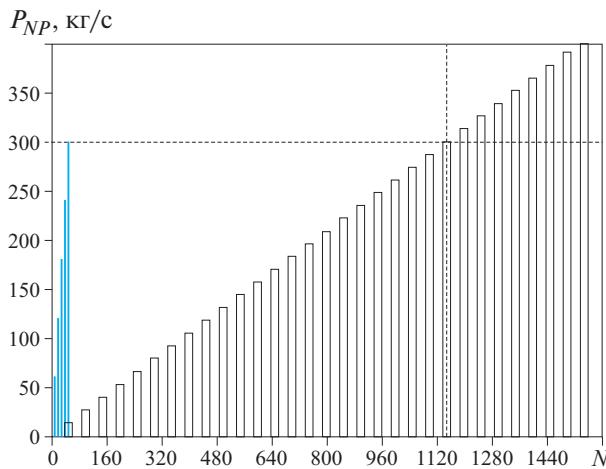


Рис. 9. Сравнение параметра возможности непрерывной подачи огнетушащего вещества пожарной техникой: 1 — “Импульс Шторм”; 2 — УПСКД

$\tau$  — время, затрачиваемое на перезарядку, с;  
 $N$  — количество возможных выстрелов до заправки технического средства огнетушащим составом, шт.

Анализируя возможности непрерывной подачи ОТВ пожарной техникой по данным табл. 3, можно сделать вывод, что наибольшей эффективностью будет обладать импульсная пожарная установка “Импульс Шторм” и установка стволовая контейнерной доставки УПСКД. Сравним данные этих двух технических устройств по характеристикам непрерывной подачи огнетушащего вещества (рис. 9).

На рис. 9 видно резкое возрастание  $P_{NP}$  (левая часть диаграммы) установки “Импульс Шторм”, однако данный параметр ограничивается значением 300 кг/с, так как данная установка имеет ограниченное количество залпов (максимум 5 по 300 кг каждый) до заправки новыми зарядами с ОТВ. Параметр  $P_{NP}$  у УПСКД плавно возрастает (правая часть диаграммы), и при числе выстрелов  $N = 1150$  имеет значение 300 кг/с. Далее  $P_{NP}$  у УПСКД также продолжает увеличиваться, так как количество метаемых контейнеров определяется лишь наличием их в магазине и количеством комплектов, загружаемых на установку, а не техническими возможностями устройства.

#### Сохраняемость массы и потери объемов доставки ОТВ в очаг пожара

Известно [6], что фактическая интенсивность подачи ОТВ на реальных пожарах всегда превосходит (в ряде случаев — в несколько раз) требуемую, определяемую по справочной литературе [7]. Данный фактор связан, в первую очередь, с потерей огнетушащего вещества в процессе доставки его к очагу пожара. Поэтому одним из важных показателей

эффективности применения установок и средств пожаротушения является сохраняемость массы и объема ОТВ при переносе его от точки, места вылета (выброса) с установки до точки, места падения и доставки в очаг пожара. Обеспечение сохраняемости доставки ОТВ средствами пожаротушения позволит максимально (без потерь) направить массу и объемы огнетушащего средства непосредственно в очаг пожара. Современные технические средства доставки таких ОТВ, как порошки, вода, пена, имеют значительные потери при доставке.

Анализ сохраняемости объемов доставки ОТВ техническими средствами проведен с применением установки “Пурга-30”, лафетного ствола ЛС С60-У. Сущность эксперимента заключалась в определении количества огнетушащего вещества, доставленного в точку максимального удаления по отношению к техническому устройству.

По результатам эксперимента определялся коэффициент сохраняемости объема ОТВ в процессе доставки:

$$K_{PD} = Q_{\max} \tau_D / V, \quad (3)$$

где  $Q_{\max}$  — максимальное значение расхода ОТВ, обеспечиваемое техническим средством, кг/с ( $m^3/s$ );

$\tau_D$  — время заполнения огнетушащим веществом емкости объемом  $V$ , с;

$V$  — объем мерной емкости,  $m^3$ .

Проведенные испытания свидетельствуют, что при увеличении угла наклона оси установки “Пурга-30” при максимальном расходе и дальности доставки 30 м коэффициент сохраняемости огнетушащего вещества в промежутке 15–30° увеличивается до максимального значения  $K_{PD} = 0,81$  при подаче пены и  $K_{PD} = 0,53$  при подаче воды, затем плавно снижается (рис. 10). Данная тенденция прослеживается при подаче как пены, так и воды.

При испытании лафетного ствола ЛС С60-У выявились характерные зависимости, совпадающие с установкой “Пурга-30”. В данном случае макси-

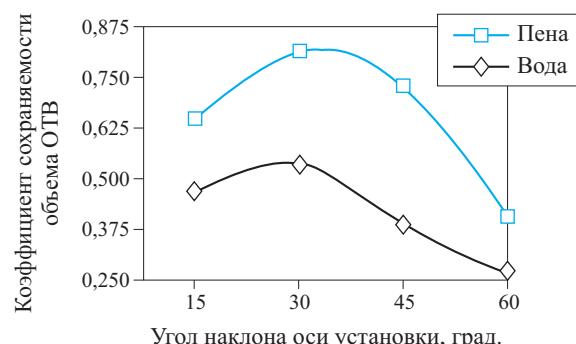
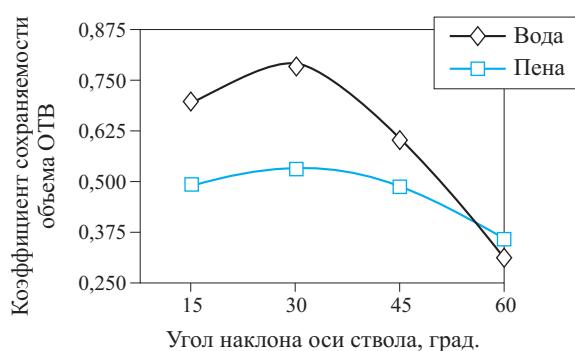


Рис. 10. Зависимость коэффициента сохраняемости объема ОТВ установкой “Пурга-30” при максимальном расходе и дальности доставки 30 м

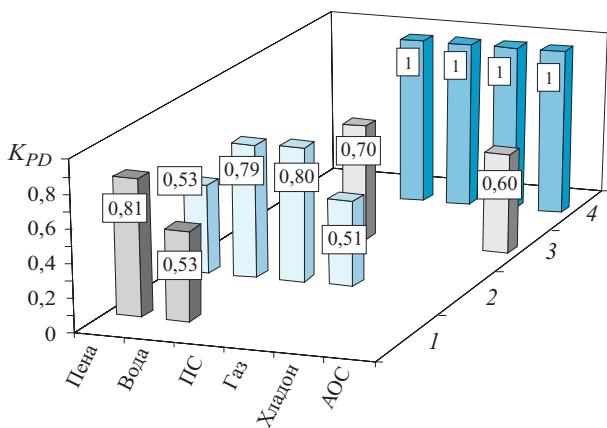
мального коэффициента сохраняемости ОТВ удалось достичь при угле подъема оси ствола  $30^\circ$ : при подаче пены  $K_{PD} = 0,53$ ; при подаче воды  $K_{PD} = 0,78$  (рис. 11).

Для средств импульсной доставки сохраняемость ОТВ можно оценить по материалам, представляемым организацией-разработчиком (ООО "Новые импульсные технологии") [4]. При дальности подачи порошковых составов до 25 м установка "Импульс Шторм" обладает высокой эффективностью из-за мгновенного выброса всего запаса огнетушащего вещества на данное расстояние. Однако при распространении порошкового облака на расстояние 100–110 м большая часть огнетушащего состава сильно распыляется. На удаленном расстоянии от технического средства остается около 10% выброшенного ОТВ.

На рис. 12 представлена сравнительная диаграмма изменения коэффициента сохраняемости огнетушащего вещества техническими средствами, обеспечивающими различные методы доставки.



**Рис. 11.** Зависимость коэффициента сохраняемости объема ОТВ лафетным стволом при максимальном расходе и дальности доставки 30 м



**Рис. 12.** Максимальная величина коэффициента сохраняемости ОТВ различными техническими устройствами на расстоянии 30 м: 1 — "Пурга-30"; 2 — лафетный ствол; 3 — "Импульс Шторм"; 4 - установка контейнерной доставкой ОТВ

Из рис. 12 видно, что в отличие от технических средств, обеспечивающих поточный и импульсный способы доставки ОТВ, контейнерный метод позволяет достичь 100%-ную доставку огнетушащего средства в очаг пожара.

Анализируя рис. 7, 9 и 12 можно сделать вывод о том, что контейнерный метод доставки ОТВ наиболее эффективен при тушении сложных пожаров с удаленного расстояния.

При использовании контейнеров важной их характеристикой является отношение массы огнетушащего вещества к массе метаемого носителя. Поэтому определим коэффициент соотношения массы огнетушащего вещества к массе корпуса носителя по формуле:

$$K_P = m/M_k, \quad (4)$$

где  $M_k$  — масса контейнера — носителя огнетушащего вещества, кг.

Проведем сравнительный анализ  $K_P$  контейнера с огнетушащим составом для УПСКД и забрасываемых огнетушителей (рис. 13).

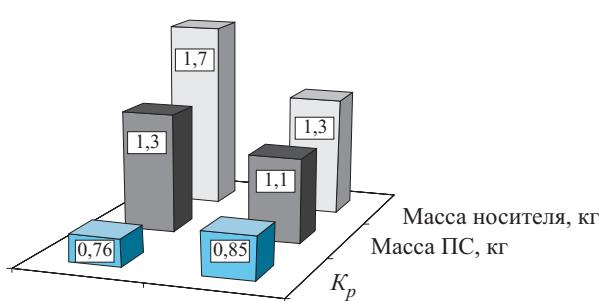
На диаграммах рис. 13 и 14 видно, что коэффициент соотношения массы огнетушащего вещества к массе корпуса носителя у контейнеров УПСКД выше в 1,1 раз при доставке порошковых составов и в 1,04–4,05 раза выше при доставке аэрозолеобразующих составов по отношению к забрасываемым огнетушителям.

Важнейшим вопросом в успешном тушении пожара является огнетушащая способность средства пожаротушения. Примем, что огнетушащая способность носителя с ОТВ определяется как

$$E = m/V_Z, \quad (5)$$

где  $V_Z$  — объем пространства, защищаемый одним контейнером,  $m^3$ .

На рис. 15 и 16 представлены сравнительные показатели огнетушащей способности носителей, начиненных порошковыми и аэрозолеобразующими составами.



**Рис. 13.** Значение  $K_P$  для забрасываемых огнетушителей (1) и контейнеров УПСКД (2) с порошковым составом

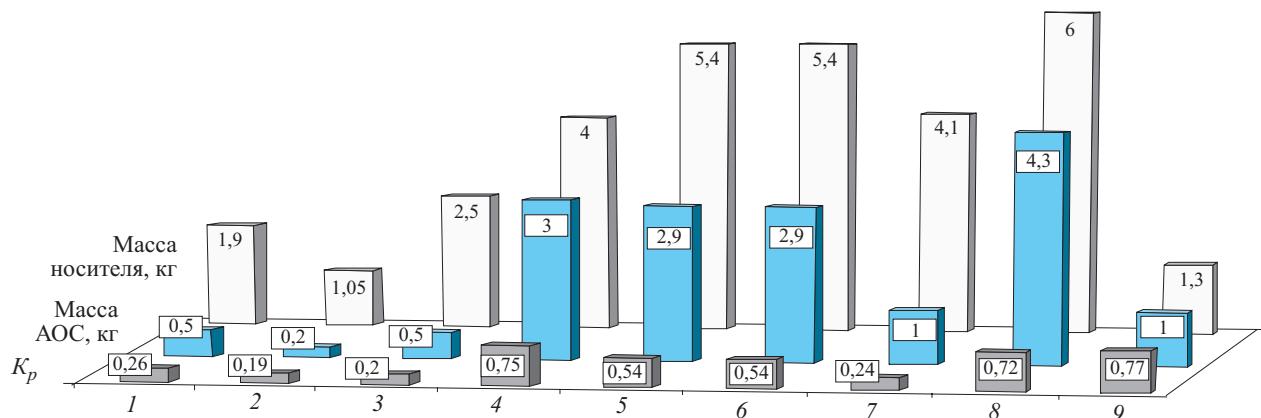


Рис. 14. Сопоставление значений  $K_p$  для контейнера УПСКД (9) и забрасываемых огнетушителей с аэрозолеобразующими составами: 1 — МАГ-5 /2Г ГОА; 2 — МАГ-3Г ГОА; 3 — МАГ-5/1Г ГОА; 4 — АСТ-Соболь 60; 5 — АГС-5; 6 — АГС-5М; 7 — МАГ-4Г ГОА; 8 — АСТ-Соболь

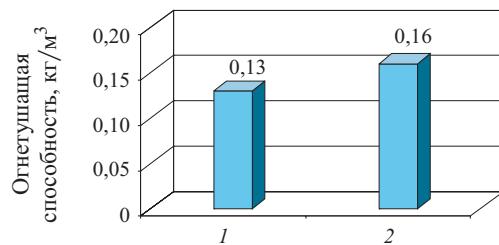


Рис. 15. Сопоставление огнетушащей способности установок РИСП ЛОТОС Д2 (1) и носителя УПСКД (2) при доставке огнетушащего порошкового состава

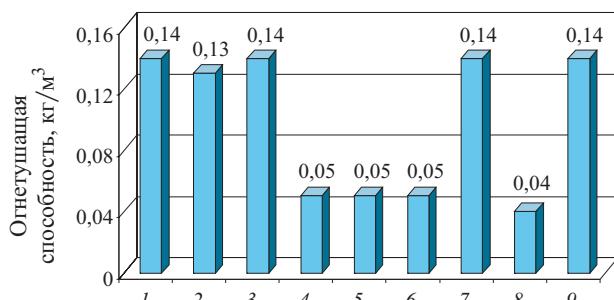


Рис. 16. Сопоставление огнетушающей способности носителей контейнерной доставки огнетушащего аэрозоля УПСКД (9) и забрасываемых огнетушителей: 1 — МАГ-5/2Г ГОА; 2 — МАГ-3Г ГОА; 3 — МАГ-5/1Г ГОА; 4 — АСТ-Соболь 60; 5 — АГС-5; 6 — АГС-5М; 7 — МАГ-4Г ГОА; 8 — АСТ-Соболь

Очевидно, что УПСКД имеет более высокую огнетушающую способность огнетушения порошковыми составами. Повышенную способность огнетушения контейнеров УПСКД удается достичь за счет использования для выброса порошкового состава газообразующего аэрозоля, который сам в свою очередь является ингибитором горения. К тому же цилиндрическая форма контейнера и внутрен-

нее устройство обеспечивают выброс ОТВ, одновременно покрывая весь объем зоны горения. В соответствии с рис. 16 контейнеры УПСКД не уступают по огнетушающей способности, а в отдельных случаях — превышают показатели существующих забрасываемых огнетушителей с аэрозолеобразующими составами.

Конструкция контейнера УПСКД, технические характеристики установки позволяют метать ранее недоставляемые на удаленное расстояние эффективные ингибиторы процессов горения, такие как: твердая двуокись углерода, галоидоуглеводороды и некоторые металлоорганические соединения, известные своими антидетонационными свойствами. К числу таких веществ относятся, например, тетраэтилсвинец (тяжелая жидкость, имеющая при нормальных условиях высокую плотность), карбонилы железа и никеля (летучие жидкости) [8]. Исследование данных огнетушащих веществ с доставкой их в контейнерах является важной задачей продолжения исследований УПСКД с возможностью расширения, разработки и применения новых, более эффективных огнетушащих составов.

## Выводы

Проведенные аналитические и экспериментальные исследования показали, что установка пожаротушения стволовая контейнерной доставки огнетушащих веществ (УПСКД), реализующая контейнерную доставку в капсулах методом метания на удаленное расстояние, характеризуется высокой эффективностью применения и решения практических задач пожаротушения, особенно тушения сложных пожаров. По технико-эксплуатационным параметрам УПСКД существенно превосходит существующие технические средства доставки ОТВ и методы пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лупанов С. Л. Статистика пожаров // Пожарная безопасность. — 2005. — №5. — С. 87–90.
2. Патент РФ №2179048. Установка пожаротушения стволового типа / А. М. Царев, Н. Г. Колпин // Бюллетень изобретений. — 2002. — №4.
3. Патент РФ №2233681. Способ контейнерной доставки огнетушащего вещества. Установка пожаротушения стволового типа и контейнер доставки для реализации способа / А. М. Царев // Бюллетень изобретений. — 2004. — №22.
4. Бухтояров Д. В., Копылов С. Н., Кущук В. А., Попов А. В. Установки импульсного пожаротушения // Пожарная безопасность. — 2005. — №3. — С. 47–53.
5. Пивоваров В. В., Навцена Н. В. Автомобили порошкового тушения. Развитие производства на предприятиях России, эффективность применения // Пожарная безопасность. — 2004. — №5. — С. 89–94.
6. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Брушлинского Н. Н. и Корольченко А. Я. — М.: "Пожнаука", 2000. — 492 с.
7. Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Технические возможности пожарных подразделений. — М.: ПожКнига, 2004. — 248 с.
8. Баратов А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. — 364 с.

Поступила в редакцию 15.05.07.



Издательство ООО “Издательство “Пожнаука”  
109052, г. Москва, ул. Смирновская, д. 1А  
(495) 918-0311, 918-0360, 918-1890  
e-mail: [firescience@pisem.net](mailto:firescience@pisem.net);  
<http://www.firepress.ru>

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 10 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 года. Периодичность — 6 номеров в год. С октября 2001 года 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.

### Журнальное приложение “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 года. Периодичность — 6 номеров в год. 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 — 28000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно  
3-я полоса — 25000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно  
4-я полоса — 35000 руб. + 2 двухцветные полосы бесплатно
2. Рекламная статья: 1/1 двухцветной полосы — 12000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные вклейки:

Размер модуля	Стоимость модуля, руб.	
	полноцветного	двухцветного
1/1 полосы (215 × 300 мм)	17000	12000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	11000	9000

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

*Тираж: 10000 экз.*

### Технические требования к макету

Растровые оригинал-макеты представляются в форматах TIF, PSD (с необъединенными слоями) с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi. Размер элементов на вылет — 5 мм. Цветовая модель — CMYK.

Векторные оригинал-макеты передаются в CDR, AI, EPS. Шрифты должны быть в кривых. Цветовая модель — CMYK.

Размер оригинал-макета должен точно соответствовать размеру рекламного модуля. К каждому оригинал-макету прилагается распечатка.

Возможно изготовление оригинал-макета рекламного модуля исполнителем.

**Спецпредложение!**

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок (200 экз.) на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

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

Наименование	Цена руб./экз.
<b>ДЛЯ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!</b>	
Научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность”	
Практическое приложение “Пожарная безопасность в строительстве”	
Специализированное издание о последних достижениях в сфере предупреждения и тушения пожаров с приложением по проблемам пожарной безопасности в строительстве.	
Периодичность выхода комплекта — 6 раз в год.	
1 комплект (журнал + приложение)	420
Полугодовая подписка на комплект	1260
Годовая подписка на комплект	2520
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (архив на CD-диске), номера за 2002–2004 гг.	204
Стоимость электронной версии одного журнала	
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” с приложением “Пожарная безопасность в строительстве” (архив на CD-диске), номера 2005 г.	324
Стоимость электронной версии одного комплекта	
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” с приложением “Пожарная безопасность в строительстве” (архив на CD-диске), номера 2006 г.	349
Стоимость электронной версии одного комплекта	
<b>УЧЕБНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ</b>	
А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко “Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения”:	2200
Справочник в 2-х т. — М.: Пожнauка, 2004. — 1-й том — 713 с.; 2-й том — 774 с.	
Н. Н. Брушлинский, А. Я. Корольченко “Моделирование пожаров и взрывов”. — М.: Пожнauка, 2000. — 492 с.	360
Л. П. Пилигин “Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций”. — М.: Пожнauка, 2000. — 224 с.	240
В. М. Ройтман “Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий”. — М.: Пожнauка, 2001. — 382 с.	300
А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин “Пожарная опасность строительных материалов”: Учебное пособие. — М.: Пожнauка, 2006. — 232 с.	200

Наименование	Цена руб./экз.
Н. А. Тычино “Огнезащита и биозащита строительной древесины посредством капиллярной пропитки”. — М.: Пожнаука, 2004. — 107 с.	175
В. Н. Баранин “Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками”. — М.: Пожнаука, 2004. — 332 с.	120
А. Ф. Шароварников, В. Л. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шароварников “Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов”: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 438 с.	350
А. Ф. Шароварников, С. А. Шароварников “Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение”: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 336 с.	250
М. М. Любимов, С. В. Собурь “Пожарная и охранно-пожарная сигнализация”: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 292 с.; 2-й т. — 308 с.	420
В. В. Теребнёв “Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений”: Справочник. — М.: Пожнаука, 2004.	150
В. С. Родин, О. Н. Найденков, С. В. Собурь “Справочник инспектора пожарного надзора”: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 400 с.; 2-й т. — 368 с.	350
Сборник официальных материалов по пожарной безопасности. — М.: Изд-во ООО ИБС Холдинг. — Выпуск 2005 г.	300
<b>СЕРИЯ “СОВРЕМЕННАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ”</b>	
А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко “Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума”: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 320 с.	300
А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко “Средства огнезащиты”: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с.	200
<b>СЕРИЯ “ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ”</b>	
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. И. Думилин “Общественные здания и сооружения”: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 352 с.	320
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный “Промышленные здания и сооружения”: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 370 с.	320
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный “Здания повышенной этажности”: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 240 с.	300
Электронная версия самообучающего учебного пособия по курсу “Пожарная безопасность объекта”. Пособие включает в себя сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов	1100

Наименование	Цена руб./экз.
Электронная версия учебного пособия по курсу “ <b>Пожарная безопасность объекта</b> ”, авторы — Корольченко А.Я. и др. Пособие включает в себя сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов	450
<b>Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия</b>	<b>1000</b>
<b>СЕРИЯ “БИБЛИОТЕКА НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАБОТНИКА”</b>	
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность</b> ”: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2005. — 292 с.	120
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность промпредприятий</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 216 с.	150
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность складов</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 240 с.	150
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность общественных и жилых зданий</b> ”: Справочник. — 2-е изд. с доп. и измен. — М.: ПожКнига, 2004. — 224 с.	150
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 432 с.	180
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 88 с.	45
<b>СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ”</b>	
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 496 с.	250
С. В. Собурь “ <b>Краткий курс пожарно-технического минимума</b> ”: Справочник. — 2-е изд. с доп. и измен. — М.: ПожКнига, 2004. — 304 с.	120
С. В. Собурь “ <b>Огнетушители</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 96 с.	60
С. В. Собурь “ <b>Установки пожаротушения автоматические</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 408 с.	200
С. В. Собурь “ <b>Установки пожарной сигнализации</b> ”: Справочник. — 4-е изд. (с измен.). — М.: ПожКнига, 2004. — 296 с.	150
С. В. Собурь “ <b>Пожарная безопасность электроустановок</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 280 с.	150
С. В. Собурь “ <b>Огнезащита материалов и конструкций</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 256 с.	150
С. В. Собурь “ <b>Предпринимателю о пожарной безопасности предприятия</b> ”: Справочник. — 2-е изд. с доп. и измен. — М.: ПожКнига, 2004. — 328 с.	120
С. В. Собурь “ <b>Заполнение проемов в противопожарных преградах</b> ”: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 187 с.	90
С. В. Собурь “ <b>Доступно о пожарной безопасности</b> ”: Брошюра. — М.: ПожКнига, 2004. — 32 с.	20
<b>СЕРИЯ “ТАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ”</b>	
Б. В. Теребнев, А. В. Теребнев “ <b>Управление силами и средствами на пожаре</b> ”: Учебное пособие / Под ред. Е. А. Мешалкина. — М., 2006. — 264 с.	330
Б. В. Теребнев, В. А. Грачев, А. В. Теребнев “ <b>Организация службы начальника караула пожарной части</b> ”: Учебное пособие. — М., 2007. — 216 с.	330

Наименование	Цена руб./экз.
<b>СЕРИЯ "ОХРАНА ТРУДА"</b>	
О. С. Ефремова « <b>Охрана труда в строительстве</b> »: Сборник. Ч. 1. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 400 с.	140
О. С. Ефремова « <b>Охрана труда в строительстве</b> »: Сборник. Ч. 2. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 468 с.	140
О. С. Ефремова « <b>Охрана труда в строительстве</b> »: Сборник. Ч. 3. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 300 с.	140
О. С. Ефремова « <b>Сборник инструкций по охране труда</b> ». Ч. 1. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 336 с.	100
О. С. Ефремова « <b>Сборник инструкций по охране труда</b> ». Ч. 2. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 320 с.	100
О. С. Ефремова « <b>Сборник инструкций по охране труда</b> ». Ч. 3. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 440 с.	100
О. С. Ефремова « <b>Изменения и дополнения в законодательстве об охране труда</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 176 с.	90
О. С. Ефремова « <b>Обучение и инструктирование работников по охране труда</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 160 с.	55
О. С. Ефремова « <b>Охрана труда в организации в схемах и таблицах</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 108 с.	155
О. С. Ефремова « <b>Охрана труда от "А" до "Я</b> ". — 4-е изд. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 516 с.	160
В. П. Ковалев « <b>Система работы с приказами по предприятию специалиста по охране труда и технике безопасности</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 60 с.	60
О. С. Ефремова « <b>Документация по охране труда в организации</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 1366 с.	55
О. С. Ефремова. <b>Журналы по охране труда</b> (комплект из 8 шт.). — 2007.	170
О. С. Ефремова « <b>Аттестация рабочих мест по условиям труда: формы и правила ведения</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 560 с.	126
О. С. Ефремова « <b>Служба охраны труда в организации</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 96 с.	47
О. С. Ефремова « <b>Журналы по охране труда: формы и правила ведения</b> ». — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 40 с.	47

**НОВЫЕ КНИГИ**

В. И. Горшков

«**Тушение пламени горючих жидкостей**». — М.: Пожнauка, 2007. — 330 с.

Подробно описаны основные механизмы тушения пламени горючих жидкостей, обусловленные особенностями взаимодействия химических и физических процессов, характерных для ликвидации горения распыленной водой и порошковыми составами.

Поскольку на процесс тушения существенное влияние оказывает скорость выгорания жидкостей, определяя интенсивность, расход огнетушащего вещества, время и критические условия тушения, то описанию закономерностей выгорания в книге удалено значительное внимание.

Структурно книга состоит из двух разделов, в которых описаны процессы выгорания жидкостей и тушение пламени водой и порошковыми составами. Приведены экспериментальные данные, характеризующие эти процессы.

350

Результаты экспериментальных исследований послужили основой для создания методов расчета скорости выгорания и основной характеристики процесса тушения, связывающей время тушения с интенсивностью подачи огнетушащего вещества.

Книга написана на основе результатов многолетних исследований автора, выполненных во время его работы во ВНИИ противопожарной обороны.

Книга рассчитана на специалистов пожарной охраны, разработчиков систем противопожарной защиты зданий и сооружений, производителей систем автоматической противопожарной защиты, специалистов в области пожарной безопасности.

Наименование	Цена руб./экз.
<p>В. А. Грачёв, Д. В. Поповский, В. В. Теребнёв <b>“Газодымозащитная служба”:</b> Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 379 с.</p> <p>Подробно рассмотрен порядок организации и обеспечения деятельности газодымозащитной службы, подготовки газодымозащитников. Специальный раздел посвящен рассмотрению воздействия опасных факторов пожара на организм человека. Большое внимание уделено устройству и особенностям правильной эксплуатации средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека. Учебник одобрен и рекомендован Министерством РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.</p>	380
<p>В. А. Грачёв, В. В. Теребнёв <b>“Средства и способы защиты органов дыхания и зрения”:</b> Справочник. — М.: Пожнаука, 2007. — 224 с.</p> <p>Рассматриваются история создания и современное состояние производства и применения средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗ) на пожарах, термины, определения, классификация СИЗ, основные технические требования и методы их испытаний. Приведены основные технические требования, предъявляемые СИЗ и комплектующим частям.</p>	330
<p>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный <b>“Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов”:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 326 с.</p> <p>Изложены требования нормативных документов по пожарной безопасности объектов хранения, переработки горючих жидкостей и газов. Рассматриваются проблемы обеспечения пожарной безопасности хранения нефти и нефтепродуктов, примеры тушения крупных пожаров.</p> <p>Даны рекомендации по тушению пожаров резервуарных парков, технологического оборудования НПЗ. Рассмотрена тактика тушения пожаров горючих жидкостей и газов на открытом пространстве.</p>	350
<p>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, О. Ю. Сабинин <b>“Леса, торфяники, лесосклады”:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 358 с.</p> <p>Излагаются требования нормативных документов по пожарной безопасности лесов, торфяников, лесоскладов. Авторы анализируют проблемы обеспечения пожарной безопасности лесных участков и складов древесины, рассматривают примеры тушения крупных пожаров.</p> <p>Рассмотрена тактика тушения лесных пожаров и пожаров на торфяниках.</p>	350
<p>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. И. Думилин <b>“Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро”:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 382 с.</p> <p>Приведены существующие и новейшие разработки в области противопожарной защиты водного, воздушного, автомобильного и железнодорожного транспорта, метрополитена. Рассмотрены вопросы развития и тушения пожаров в этих видах транспорта.</p> <p>Книга предназначена для работников пожарной охраны, инженерно-технического состава предприятий транспорта, слушателей и курсантов учебных заведений МЧС РФ, морских учебных заведений.</p>	320
<p>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв <b>“Справочник спасателя-пожарного”.</b> — М., 2006. — 528 с.</p> <p>Приведены основные термины и определения; перечень опасных факторов, влияющих на процесс ликвидации аварий, пожаров и катастроф; характеристики техники, оборудования, приборов, одежды и инструментов, используемых пожарными и спасателями; параметры тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ. Даны характеристики и нормы подачи огнетушащих веществ; действие опасных факторов пожара на людей и горящие объекты. Показаны приемы экстренной медицинской помощи, которую необходимо оказать пострадавшим при пожарах, авариях и катастрофах. Даны критерии оценки уровня профессиональной подготовки спасателей.</p>	320

Наименование	Цена руб./экз.
Справочник рекомендован для преподавателей и слушателей вузов пожарно-технического профиля, спасателей, практических работников пожарной охраны, инженеров по технике и пожарной безопасности объектов, проектных организаций.	
<b>В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, К. В. Шадрин</b> “Основы пожарного дела”. — М., 2006. — 328 с., ил.	380

Изложены вопросы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений как на стадии строительства, так и в период их эксплуатации. Приведены требования к оборудованию помещений автоматическими установками пожаротушения, их виды, выбор и проектирование. Даны требования пожарной безопасности при проведении пожаровзрывоопасных работ на объекте. Показаны основы взрывопожароопасности технологических процессов производств. Рассмотрены вопросы пожарной профилактики зданий, сооружений, помещений и установок. Описан пожар и его развитие, а также зоны теплового воздействия, задымления и другие параметры. Изложены вопросы тушения пожаров подразделениями пожарной охраны в различных частях здания, а также на особо пожаровзрывоопасных объектах.

Книга будет полезна работникам пожарной охраны, инженерно-техническому персоналу объектов, руководителям пожарных дружин, работникам проектных организаций.

### ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ

А. Я. Корольченко

“Процессы горения и взрыва”: Учебник. — М.: Пожнаука, 2007.

Изложены современные представления о закономерностях процессов возникновения горения, распространения пламени и прекращения горения веществ, находящихся в газообразном, жидким и твердом состояниях. В доступной форме представлены теории самовоспламенения и вынужденного зажигания. Описаны особенности протекания химических процессов в предпламенной зоне, зоне пламени и зоне догорания. Подробно рассмотрен механизм химических превращений при горении водорода, оксида углерода и низших углеводородов. Дан анализ процессов флегматизации и ингибиции пламени, прекращения горения.

Описаны показатели, характеризующие пожаровзрывоопасность веществ и материалов в различных агрегатных состояниях, методы расчетного и экспериментального определения этих показателей.

Учебник подготовлен на основе курса лекций по дисциплине “Теория горения и взрыва” Московского государственного строительного университета и предназначен для студентов технических ВУЗов, обучающихся по специальностям “Пожарная безопасность”, “Безопасность технологических процессов и производств”, “Безопасность в техносфере”, “Безопасность при чрезвычайных ситуациях”.

Д. А. Корольченко

“Огнетушители. Практическое применение”: Учебное пособие. —

М.: Пожнаука, 2007.

Рассматриваются вопросы классификации, выбора и применения огнетушителей на пожаре. Содержит нормативно-технические документы, применяемые при проведении пожарно-профилактических мероприятий на предприятиях.

Предназначено для рабочих различных отраслей промышленности, студентов технических ВУЗов, слушателей курсов повышения квалификации и широкого круга читателей.

**Издательство приглашает к сотрудничеству  
авторов и распространителей!**

**Для наших распространителей существует гибкая система скидок!**

Заявку направить в отдел распространения издательства ООО “Издательство “Пожнаука”:

- ✓ по почте: 109052, г. Москва, ул. Смирновская, д. 1А;
- ✓ по тел./факсу: (495) 918-03-11, 918-03-60, 918-18-90 (многоканальные);
- ✓ по e-mail: [firescience@pisem.net](mailto:firescience@pisem.net), [vasillkova@gmail.com](mailto:vasillkova@gmail.com);
- ✓ <http://www.firepress.ru>

Название организации, реквизиты (ИНН/КПП обязательно)	<p><b>ВНИМАНИЮ ЗАКАЗЧИКОВ!</b> <u>Электронные версии высылаются по электронной почте!</u></p>
Наименование и количество заказываемой литературы (электронных версий)	
Вид доставки <ul style="list-style-type: none"><li>• самовывоз</li><li>• почтовая (+20% от стоимости заказа)</li></ul>	
Почтовый адрес, тел./факс, контактное лицо, e-mail	

### **ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!**

*ООО “Издательство “Пожнаука” продолжает подписку на 2007 г. на специализированный научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность” с приложением “Пожарная безопасность в строительстве”.*

*Стоимость подписки на полугодие — 1260 руб., на год — 2520 руб.*

*Подписка осуществляется:*

- в почтовом отделении по каталогам “Роспечать” (83340) и ЗАО АПР (83647);
- через подписные агентства ООО “Вся пресса”, ООО “Интерпоста”, ООО “АртосГал”, ООО “Урал-Пресс XXI” и ООО “Информ-наука”.

*Контактные телефоны: (495) 918-0311, 918-0360, 918-1890 (многоканальные)*

*E-mail: [firescience@pisem.net](mailto:firescience@pisem.net)*

*Отдел рекламы: О. И. Нестерова, Л. И. Рахманова*

*Отдел распространения: Е. Н. Василькова*



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**  
**УЧЕБНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР**

Тел./факс: (495) 918-03-11, 918-03-60, 918-18-90

Наш сайт: [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru), рубрика “Образование.

Дополнительное профессиональное образование.

Учебный центр Института инженерной безопасности

в строительстве МГСУ”

E-mail: [firescience@pisem.net](mailto:firescience@pisem.net)

Лицензии:

Федеральной службы по надзору

в сфере образования и науки РФ

от 29.03.2005 г.;

ГУ ГПС МЧС РФ № 1/01061

от 21.05.2003 г.

Профессиональная переподготовка специалистов предприятий и организаций по программам дополнительного профессионального образования на основании установленных квалификационных требований по должностям:

**Инженер (техник) по специальности 330400 “Пожарная безопасность”  
(550 часов – 6 месяцев)**

Изучаемые дисциплины:

- Пожар. Пожарная безопасность
- Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов
- Средства пожаротушения
- Пожаровзрывобезопасность технологических процессов
- Пожарная опасность электроустановок
- Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре
- Прогнозирование опасных факторов пожара
- Противопожарное водоснабжение
- Производственная и пожарная автоматика
- Огнезащита строительных материалов и конструкций

**Инженер (техник) по специальности 330500 “Безопасность  
технологических процессов и производств” (510 часов – 6 месяцев)**

Изучаемые дисциплины:

- Общие вопросы охраны труда
- Производственная санитария
- Техника безопасности
- Пожаровзрывобезопасность

Форма обучения – заочная с применением дистанционных образовательных технологий.

Базовый уровень образования – высшее или среднее специальное.

Обучение проводится по индивидуальному графику.

Стоимость переподготовки – 35000 руб. (НДС не облагается).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о профессиональной переподготовке, который дает право на ведение профессиональной деятельности в определенной сфере.

**ВТОРОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**Инженер по специальности 330400 “Пожарная безопасность”  
(срок обучения – 3,5 года)**

Программа обучения составлена с учетом современных требований к данной специальности. Включает в себя помимо общих дисциплин все основные аспекты пожарной безопасности, особое внимание уделяется аспектам пожарной безопасности в строительстве:

- Теория горения и взрыва
- Пожаровзрывобезопасность технологических процессов и оборудования
- Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре
- Взрывозащита зданий
- Системы охранной и охранно-пожарной сигнализации

- Системы автоматического пожаротушения
- Моделирование развития пожаров в зданиях и прогнозирование опасных факторов пожара
- Эвакуация людей при пожаре

Программа и форма обучения корректируются индивидуально в зависимости от базового уровня образования отдельных слушателей и успешности выполнения ими учебного плана.

Формы обучения: очно-заочная; заочная с применением дистанционных образовательных технологий.

**Стоимость обучения – 40000 рублей в год.**

**ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ** для руководителей и специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности и охраны труда – 72 часа (с выдачей удостоверения государственного образца сроком на 5 лет)

- |   |            |
|---|------------|
| ● Пожарная безопасность объектов                            | 9800 руб.  |
| ● Пожарная безопасность образовательных учреждений          | 9800 руб.  |
| ● Пожарная безопасность предприятий нефтегазового комплекса | 15000 руб. |
| ● Расчет сметной стоимости в составе проектной документации | 9800 руб.  |
| ● Управление охраной труда на предприятии                   | 9800 руб.  |

**ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ** для руководителей и специалистов по пожарной безопасности и охране труда – 40 часов (с выдачей удостоверения сроком на 3 года)

- |                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| ● Пожарно-технический минимум | 4100 руб. |
| ● Охрана труда                | 4100 руб. |

**ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ** для руководителей и специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности и охранных систем – 72 часа (с выдачей удостоверения государственного образца сроком на 5 лет)

- |  |            |
|--|------------|
| ● Проектирование автоматических установок пожаротушения                          | 9800 руб.  |
| ● Монтаж и эксплуатация автоматических установок пожаротушения                   | 9800 руб.  |
| ● Проектирование пожарной сигнализации   | 9800 руб.  |
| ● Монтаж и эксплуатация пожарной сигнализации                                    | 9800 руб.  |
| ● Проектирование охранной и пожарно-охранной сигнализации                        | 11300 руб. |
| ● Монтаж и эксплуатация охранной и охранно-пожарной сигнализации                 | 11300 руб. |
| ● Проектирование средств и систем охраны   | 11300 руб. |
| ● Монтаж и эксплуатация средств и систем охраны                                  | 11300 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация автоматических установок пожаротушения   | 12700 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация пожарной сигнализации                    | 12700 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация охранной и охранно-пожарной сигнализации | 14700 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация средств и систем охраны                  | 14700 руб. |
| ● Системы охранного видеонаблюдения  | 15500 руб. |
| ● Огнезащита строительных материалов и конструкций                               | 9300 руб.  |

Возможно проведение занятий на базе предприятий и организаций как в г. Москве, так и в регионах Российской Федерации:

- по вышеперечисленным программам УВЦ ИИБС МГСУ;
- по индивидуальным программам, согласованным с предприятиями с учетом специфики их деятельности.

**Начальник Учебно-выставочного центра – Ишунькин Александр Иванович**  
**Оформление договоров – Кушкова Вера Владимировна**



## 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 в двух экземплярах, ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана автором. Корректура авторам не высыпается. Редакция будет признательна авторам за представление текста статьи и графического материала в электронном виде.

2. Размер статей, как правило, не должен превышать 20 стр. машинописного текста, включая иллюстрации, таблицы и библиографию.

3. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см.

4. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи;
- имена, отчества и фамилии авторов (полностью), должности, степени, звания, название организации, фотография, контактный телефон;
- реферат (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- подписи к рисункам;
- рисунки.

5. К статье необходимо приложить расширенную аннотацию на английском языке (объем не ограничивается) для наилучшего представления Вашей работы за рубежом.

6. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам (см. Политехнический словарь, 1989, с.647–649). 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. Буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения.

7. Иллюстрации прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы раstraовых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Номера проставляются простым карандашом на каждом рисунке, а также в рукописи на левом поле страницы против соответствующего места в тексте. На обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы. Желательно прилагать электронные версии иллюстраций.

8. 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.

9. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

**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, академик РАЕН,  
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушлинский

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

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

**Редакция:**

Главный редактор журнала  
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ  
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор  
О. В. Бубнова

Отдел рекламы и распространения:  
О. И. Нестерова, Е. Н. Василькова, Л. И. Рахманова

**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, 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  
O. V. Bubnova

PR and Subscription Section:

O. I. Nesterova, E. N. Vasil'kova, L. I. Rahmanova

**Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”****Адрес редакции:**

109052, г. Москва, Смирновская ул., 1A  
Тел.: (495) 918-03-60 Тел./факс: (495) 918-03-11

E-mail: fire-sci@mail.ru, firescience@pisem.net

**Editorial Office Address:**

Smirnovskaya St., 1A, Moscow, 109052 Russia

Phone: (495) 918-03-60 Phone/Fax: (495) 918-03-11

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 04.06.07.

Формат 60×84 1/8. Тираж 10000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

# **БЕЗОПАСНОСТЬ**

**пожаровзрыво-**

## **ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА**

на журнал

## **Карточка учета сведений о подписанчике**

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер ИНН / КПП	
Код отрасли по ОКОНХ	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Телефон по юридическому адресу	
Фактический адрес	
Почтовый адрес	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	

Издание	Цена подписки на полугодие, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоймость подписки, руб.
Комплект: журнал "Пожароопасность" + приложение "Пожарная безопасность в строительстве". Полугодовая подписка Один комплект			1260 420

- 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 факсу (495) 918-03-60, 918-03-11 в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.

Оплату за подпиську Вы можете произвести по следующим реквизитам:

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"  
Юридический адрес:  
109052, г. Москва, ул. Смирновская, д. 1 А, офис 402  
ИНН 7722589941 КПП 772201001  
Р/с 40702810060120585901 в АКБ "ПРОМСВЯЗЬБАНК" (ЗАО)  
БИК 0445583119  
К/с 30101810600000000119

Генеральный дилектор — Колотельченко Александра Яковлевича

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам:  
(495) 918-03-60, 918-03-11, 918-18-90 (многоканальный)**

ПОДПИСКА:

через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;  
через агентство "АПР", индекс 83647  
(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");  
через подписные агентства: ООО "Вся пресса",  
ООО "Интерпочта", ООО "Эльстарт", ООО "Урал-Пресс"



# ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА

## пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ

### Купон '2007

Издание	Цена подписки на полугодие, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоймость подписки, руб.
Комплект: журнал "Пожаровзрывобезопасность" + приложение "Пожарная безопасность в строительстве"; Полугодовая подписка Один комплект	1260	420	

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 факсу (495) 918-03-60, 918-03-11 в отдел распространения. Проследите,

пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.

Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:

Юридический адрес:  
Юридический адрес:

Юридический адрес:  
Юридический адрес:  
Юридический адрес:

По вопросам подписки обращаться по телефонам:  
(495) 918-03-60, 918-03-11, 918-18-90 (многоканальный)

#### ПОДПИСКА:

через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;

через агентство "АПР", индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");

через подписные агентства: ООО "Вся пресса",

ООО "Интерпоста", ООО "Эльстаг", ООО "Урал-Пресс"

### Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	Идентификационный номер (ИНН / КПП)
--	-------------------------------------

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	



**Dr. STHAMER HAMBURG**



**СОВРЕМЕННЫЕ  
ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**

109052, Москва, Смирновская ул., 1А

Тел./факс: (495) 918-03-11, 918-03-60, 918-18-90. E-mail: spt@pisem.net

## **ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**



### **Шторм-Ф и Шторм-М**

Пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой и средней кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы.

**Штамекс АFFF (STHAMEX АFFF 3/6),  
Штамекс многоцелевой  
(STHAMEX-Multiform АFFF 3/6)**

Высокоэффективные пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой, средней и высокой кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Могут использоваться для подслойного пожаротушения.

### **Штамекс F-15 (STHAMEX F-15)**

Углеводородный пенообразователь на основе синтетических ПАВ с широким спектром применения.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006