

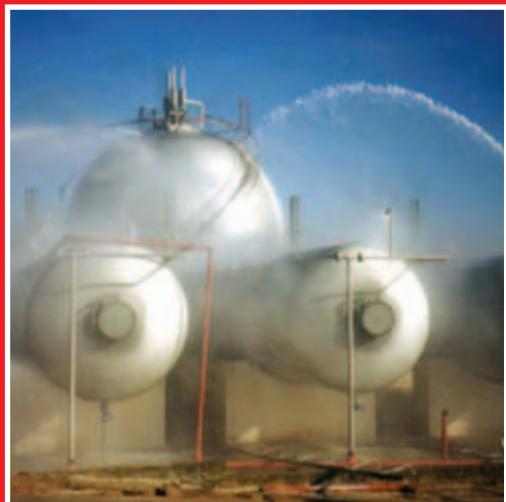
# ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 4'2007

**Российская система нормирования в строительстве**

**Изучение фазового равновесия методом рефрактометрии**

**Статистическая модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием пожара**



**Минимизация ущерба при пожаре в резервуарных парках**

**Спасение людей из зданий повышенной этажности при пожарах**

**Анализ механизма тушения пожара в задымленной насосной пеной высокой кратности**

# ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 16 • №4 • 2007

## FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал  
ООО "Издательство "Пожнauка"

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

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ЮБИЛЕИ

- Анатолий Николаевич БАРАТОВ** (к 70-летию со дня рождения) **3**

#### ПРЕДСТАВЛЯЕМ КОМПАНИИ

- Андреев А. С.** Как выбрать электромагнит для системы пожарной автоматики **4**

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Членов А. Н., Дровникова И. Г.** Условия совершенствования профессиональной подготовки специалистов для работы в системе охраны и пожарной безопасности объектов **6**

- Красавин А. В., Красавина Т. С., Красильников Н. А., Думилин А. И.** Российская система нормирования в строительстве. Быть или не быть? **10**

#### ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

- Барботько С. Л., Вольный О. С., Изотова Т. Ф.** Математическое моделирование тепловыделения при горении полимерных композиционных материалов различной толщины **16**

- Шеков А. А., Анненков В. В., Даниловцева Е. Н., Егоров А. Н.** Поливинилхлоридные материалы пониженной горючести на основе кремнистых створок диатомей **21**

#### ОГНЕЗАЩИТА

- Мельников А. С., Страхов В. Л.** Уточненная математическая модель работы вспучивающейся огнезащиты на минеральной основе **26**

- Вшивков С. А., Пазникова С. Н., Русинова Е. В., Евтухов С. А.** Изучение фазового равновесия методом рефрактометрии и определение вторых вироальных коэффициентов системы полимер – антипирен **34**

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

- Абрамов Ю. А., Басманов А. Е.** Стохастическая модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием пожара **37**

(продолжение на следующей странице)

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

<b>Заятдинов О. М., Чернов Ю. Л.</b> Обеспечение пожарной безопасности эксплуатируемых зданий в регионах Сибири и Дальнего Востока	<b>44</b>
<b>Зубков Б. В., Бочкарев А. Н.</b> Комплексные методы и средства против угрозы актов незаконного вмешательства на объектах воздушного транспорта	<b>49</b>
<b>Овсяник А. И., Седнев В. А.</b> Методология обоснования инженерно-технических мероприятий предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и оценки их эффективности	<b>53</b>
<b>Абрамов Ю. А., Басманов А. Е.</b> Минимизация ущерба при пожаре в резервуарных парках	<b>59</b>

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ**

<b>Подгрушный А. В., Хонг Ч. Д.</b> Исследования по спасанию людей из зданий повышенной этажности при пожарах	<b>66</b>
---	-----------

## **ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА**

<b>Демёхин Ф. В., Буцынская Т. А., Журавлёв С. Ю.</b> Повышение достоверности обнаружения пожара на промышленных объектах	<b>69</b>
---	-----------

## **ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ**

<b>Храмцов С. П.</b> Вода для тушения пожаров	<b>72</b>
<b>Воевода С. С., Крейтор В. П., Бузюк В. В.</b> Анализ механизма тушения пожара в задымленной насосной пеной высокой кратности	<b>76</b>

## **ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК**

**80**

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 предоставленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати.



## Анатолий Николаевич БАРАТОВ

(к 70-летию со дня рождения)

**16** августа исполнилось 70 лет со дня рождения Анатолия Николаевича БАРАТОВА. Полковник внутренней службы, действительный член НАНПБ, доктор технических наук, профессор, всемирно известный ученый в области пожарной безопасности промышленных объектов, средств и способов пожаротушения, заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Анатолий Николаевич окончил Ленинградское Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1947 г.), Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева (1952 г.) и аспирантуру при нем (1955 г.).

С 1955 по 1985 гг. работал в ЦНИИПО МВД СССР, ныне — ФГУ ВНИИПО МЧС России. За время работы прошел ступени от старшего научного сотрудника до заместителя начальника института по научной работе. В дальнейшем работал профессором в Московском инженерно-строительном институте и главным научным сотрудником ВНИИПО.

Свою научно-исследовательскую деятельность Анатолий Николаевич посвятил исследованиям предельных условий горения в их связи с молекулярной структурой горючих веществ, кинетики и механизма горения ряда веществ, особенностей развития взрывов газо- и пылевоздушных смесей, механизма ингибирования процессов горения. Результаты исследований использовались при стандартизации методов определения показателей пожаро- и взрывоопасности веществ и материалов, установлении методов оценки сравнительной эффективности огнетушащих веществ и механизма ингибирования горения. Разработанная им общая теория тушения пожаров явилась основой для создания принципиально новых огнетушащих веществ и способов тушения пожаров (например, аэрозольный способ, базирующийся на сжигании пропеллентов).

А. Н. Баратовым опубликовано свыше 500 научных трудов, 6 монографий, 2 справочника, 2 учебных пособия, получено около 80 патентов и авторских свидетельств об изобретениях. Под его руководством защищены 36 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

Анатолий Николаевич является членом Научного Совета Российской Академии Наук (с 1986 г.) и Комитета по альтернативным средствам тушения Национальной ассоциации пожарной защиты (с 1997 г.), ученых советов Академии ГПС и ФГУ ВНИИПО.

А. Н. Баратов награжден знаками “Заслуженный деятель науки России”, “Заслуженный работник МВД СССР”, “Лучшему работнику пожарной охраны” и 13-ю медалями, в том числе ВДНХ.

Ряд работ А. Н. Баратова был удостоен дипломов зарубежных выставок в Брюсселе (Бельгия) и Женеве (Швейцария).

*Коллектив журнала “Пожаровзрывобезопасность”  
поздравляет юбиляра! Желаем Анатолию Николаевичу  
счастья, здоровья и успехов в научной деятельности!*



Начальник технического отдела  
ООО НПП “Спецэлектромагнит”  
**А. С. Андреев**

УДК 614.842.4

## КАК ВЫБРАТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ

**В** последнее время организации, производящие монтаж систем дымоудаления зданий, стали обращать внимание на проблемы, связанные с необходимостью одновременного открытия нескольких клапанов дымоудаления с электромагнитным приводом. Данная проблема возникает при использовании для привода клапана дымоудаления электромагнита большой мощности. Проведем сравнительный анализ электромагнитных приводов различных производителей:

1. Электромагниты ЭМ-25Пл, ЭМ-25П — производитель ООО НПП “Спецэлектромагнит”, г. Комсомольск, Ивановская обл.
2. Электромагнит ЕИВГ 9.052-00-00 — производитель ОАО “Серпуховской электромеханический завод”, г. Серпухов, Московская обл.
3. Электромагнитный привод ЭМ-01-Т — производитель ЗАО “Энергис”, г. Киров.

Технические характеристики рассматриваемых электромагнитных приводов представлены в табл. 1.

Для питания более мощных электромагнитов необходимо применять более мощные блоки питания, провода большего сечения, при этом продолжительность их включения указана расплывчатыми формулировками. Соответственно, в ходе наладочных работ при нахождении электромагнитов ЕИВГ 9.052-00-00 и ЭМ-01-Т под напряжением более 10 с возможен их выход из строя, для электромагнита ЭМ-25Пл это время увеличивается до 1 ч.

Некоторые производители клапанов дымоудаления вообще используют один “универсальный” электромагнит — на 24 и 220 В. Мощность такого электромагнита при работе от сети 220 В составляет 1210 Вт. Производители данных приводов компрометируют саму идею клапанов с электромагнитами.

ООО НПП “Спецэлектромагнит” более 13 лет выпускает электромагниты для различных отраслей промышленности. Технический отдел предприятия имеет большой опыт проектирования электромеханических устройств. Конструкция проектируемых электромагнитов тщательно просчитывается, подбираются необходимые электротехнические материалы. Каждое изделие проходит строгие приемо-сдаточные испытания. Качество электромагнитов подтверждено тем, что ведущий отечественный изготовитель противопожарных клапанов ЗАО “Вингс-М” уже более 10 лет использует электромагнитные приводы только производства НПП “Спецэлектромагнит”. Кроме этого поставка данной продукции осуществляется еще более чем в 20 фирм России, Украины и Беларуссии. Есть у предприятия потребитель и в Чехии.

Таблица 1

Параметр	Электромагнитный привод		
	ЭМ-25Пл, ЭМ-25П	ЕИВГ 9.052-00-00	ЭМ-01-Т
Номинальная потребляемая мощность, ВА	44	220	317
Номинальный потребляемый ток, А	0,2	1	1,45
Номинальное тяговое усилие, кг	11	6	1,5
Номинальный ход якоря, мм	4,5	6	4,5
Продолжительность включения (ПВ), %	40	Информация отсутствует, расчетное значение 6–8	3
Масса, кг	1,5	1,9	1,2



Электромагнитные приводы: *a* — ЭМ-25П; *b* — ЭМ-25Пл; *c* — МЭГ-6Пл; *d* — ЭМ-150

В связи с тем, что за последние 2 года стоимость обмоточного провода увеличилась в 2,5 раза, перед техническим отделом НПП “Спецэлектромагнит” была поставлена задача разработать электромагнитный привод, себестоимость которого была бы ниже. В настоящее время на предприятии готовится к производству новый привод для вентиляционных систем — электромагнит МЭГ-6Пл. Он будет на 25–28% дешевле привода ЭМ-25Пл при высоких технических характеристиках, показателях надежности и качества.

Технические характеристики привода МЭГ-6Пл представлены в табл. 2.

На вышеперечисленном сотрудничество НПП “Спецэлектромагнит” с производителями противопожарного оборудования не исчерпывается. На предприятии осуществляется выпуск электромагнита ЭМ-150-А (в общепромышленном и взрывозащищенном исполнениях) для модулей газового пожаротушения. Данный электромагнит используется для автоматического, дистанционного и местного запусков системы газового пожаротушения. Для ООО “Технос-М+” (г. Нижний Новгород) спро-

Таблица 2

Параметр	Значение параметра
Номинальное тяговое усилие, не менее, Н	40,0
Номинальное напряжение питающие сети	220 В 50 Гц; 24 В 50 Гц; 24 В; 12 В
Рабочий ход якоря, не менее, мм	5,5
Потребляемая мощность, не более, Вт	60,0
Режим работы, ПВ, %	15
Масса, не более, кг	0,8

ектирован и выпускается электромагнит ПЭ-35Пл для использования на МГП “Атака”.

*НПП “Спецэлектромагнит” приглашает к сотрудничеству все предприятия, занимающиеся выпуском противопожарного оборудования и заинтересованные в получении надежных, качественных и современных электроприводов.*

Поступила в редакцию 31.07.07.



Д-р техн. наук, профессор,  
профессор кафедры пожарной  
автоматики Академии ГПС МЧС России  
**А. Н. Членов**



Канд. пед. наук, доцент,  
доцент Воронежского института  
МВД России  
**И. Г. Дровникова**

УДК 614.8:378

## УСЛОВИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В СИСТЕМЕ ОХРАНЫ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

На примере системы охраны и пожарной безопасности объектов, формируемой подразделениями вневедомственной охраны при органах внутренних дел Российской Федерации, показана актуальность и определены основные условия совершенствования профессиональной подготовки специалистов.

Процессы, осуществляемые в социально-экономической и политической жизни современной России, антиобщественные проявления криминального характера, всплеск преступности, устойчивые тенденции к изменению ее количественных и качественных показателей, появление новых видов угроз ставят на повестку дня проблему обеспечения имущественной безопасности.

Среди основных угроз объектам различных видов собственности особое место занимают пожары и преступные посягательства человека, в том числе поджоги. Охрана таких объектов является основным содержанием деятельности подразделений вневедомственной охраны (ВО) при органах внутренних дел (ОВД) Российской Федерации [1]. Анализ руководящих документов Правительства Российской Федерации и МВД России [2], регламентирующих деятельность ВО, позволяет определить следующие ее основные функции:

- обеспечение охраны имущества от кражи и пожара, а также оказание других услуг, предусмотренных договорами с собственниками;
- в пределах своей компетенции подготовка проектов нормативных актов по вопросам защиты имущества от преступных и иных противоправных посягательств;
- участие в подготовке и выполнении государственных, региональных и иных программ и мероприятий по обеспечению сохранности материальных ценностей;
- осуществление и проведение научных исследований, опытно-конструкторских и иных работ в области создания и применения средств охранно-

пожарной сигнализации, выполнение функций генерального заказчика указанных средств для собственных нужд;

- осуществление на охраняемых объектах технического надзора за выполнением проектных и монтажных работ по оборудованию средствами охранно-пожарной сигнализации, использованием приборов и систем охраны в соответствии с технической документацией, прием их в эксплуатацию, обслуживание и ремонт, проведение этих работ на договорной основе на неохраняемых объектах;
- организация и проведение испытаний средств охранно-пожарной сигнализации, в том числе и зарубежных, а также обеспечение в установленном порядке выдачи сертификатов на их использование на территории Российской Федерации;
- участие в разработке и согласовании стандартов на средства охранной и охранно-пожарной сигнализации.

Кроме этого, ВО оказывает ряд дополнительных услуг собственникам по обеспечению безопасности их имущества. Каждая из них в итоге направлена на создание условий по предотвращению возникновения пожара и (или) своевременному его обнаружению. Отметим, что ВО возмещает собственникам убытки в связи с кражами и пожарами, допущенными по их вине.

Одной из основных задач, поставленной и решаемой ВО, является объединение систем пожарной и охранной сигнализации [3].

Основой для успешного решения перечисленных задач служит повышение квалификации со-

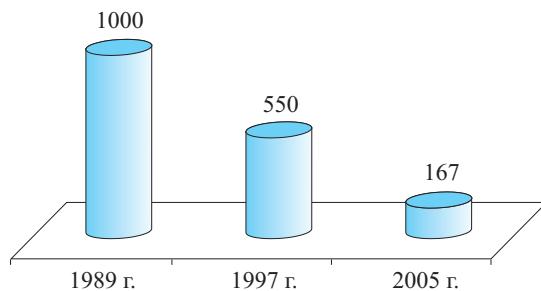
трудников ВО. Их деятельность осуществляется в условиях роста объема и сложности выполняемой работы при одновременном ухудшении криминогенной обстановки. Так, сравнивая данные [4, 5], можно заключить, что за последние 8 лет количество охраняемых ВО объектов увеличилось более чем на треть и составило к 2006 г. около 470 тыс. ед. При этом количество охраняемых квартир граждан только с 2002 по 2006 гг. увеличилось с 1,32 млн до 1,62 млн ед. Одновременно за 2003–2005 гг. число преступных посягательств на охраняемое имущество возросло почти в 2 раза [4].

На рис. 1. представлена динамика изменения относительного числа сотрудников ВО (на 1000 ед. охраняемого имущества) за 1989–2005 гг. Из рис. 1 следует, что за этот период относительное количество сотрудников ВО уменьшилось почти в 6 раз. К настоящему времени их штатная численность составляет около 350 тыс. чел.

В этих условиях повышение эффективности функционирования ВО невозможно без широкого внедрения достижений технического прогресса, прежде всего в области радиоэлектроники и автоматики. С 2004 г. началась работа по комплексному техническому перевооружению служб ВО. Только за год с этого времени в 3 раза увеличилось число используемых автоматических систем. Все это повышает требования к профессиональной подготовке специалистов ВО, работающих в сфере обеспечения безопасности.

Изучение служебной документации подразделений ВО, а также стандартизованные опросы сотрудников этих подразделений позволяют определить содержание их функциональных обязанностей и, следовательно, выявить специфику функций, реализуемых подразделениями ВО в своей профессиональной деятельности:

- самостоятельно (в пределах своей компетенции) решают вопросы договорной и внешнеэкономической деятельности (36%);
- не только организуют, но и практически осуществляют охрану имущества, а также оказание услуг, предусмотренных договорами с собственниками, своими силами и средствами. При этом охрана гарантирует возмещение ущерба от допущенных по ее вине краж, беря на себя функции “страховой компании” (80% респондентов);
- имеют большой объем административно-надзорных функций, связанных с соблюдением общественного порядка в зонах постов и маршрутов патрулирования (73%);
- сотрудники ВО являются представителями власти, носителями властных полномочий. Принесении службы они могут (в установленном законодательством порядке) требовать соблюдения



**Рис. 1.** Изменение относительного количества сотрудников ВО на 1000 ед. охраняемого имущества (объектов и квартир граждан)

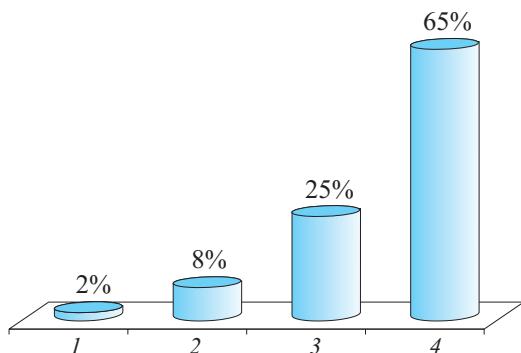
предусмотренного пропускного режима на охраняемых объектах, задерживать граждан, производить досмотр их вещей, применять спецсредства и огнестрельное оружие и др. (71%);

- их деятельность протекает в специфических формах, не свойственных сотрудникам милиции общественной безопасности и криминальной милиции (53%);
- наличие таких черт отправления государственной службы, как специальная подготовка, особая трудовая дисциплина и др. (74%).

Специфика выявленных функций сотрудника ВО определяет предъявляемые к нему требования как к члену общества и профессиональному, способному квалифицированно решать задачи обеспечения безопасности собственности и профилактики имущественных преступлений, стремящемуся к профессиональному самообразованию и личностно-профессиональному саморазвитию.

Анализ содержания профессиональной деятельности подразделений ВО показывает, что для специалиста существенное значение имеют не только профессиональные, но и индивидуальные личностные качества, которые являются основой для саморазвития его личности и повышения квалификации. Экспертный опрос сотрудников ОВД, имеющих стаж практической работы в подразделениях ВО свыше 5 лет (всего 26 человек), дает возможность конкретизировать указанные качества, которые в соответствии с ответами респондентов целесообразно сгруппировать в следующие блоки:

1. *Общепрофессиональные* — важные для любого сотрудника ОВД: гражданственность, нравственность, добросовестность, преданность профессиональному долгу, верность присяге, высокий уровень правосознания и социальной ответственности, честность, самоотверженность, непримиримость в борьбе с правонарушениями, деловитость, стремление к повышению профессионального мастерства и служебной подготовленности, умение заниматься самообразованием, физическая тренированность, эмоционально-волевые качества, общие



**Рис. 2.** Уровень подготовленности к профессиональной деятельности специалистов ВО ОВД: 1 — полностью подготовлены теоретически и практически; 2 — при наличии необходимых теоретических знаний отсутствуют умения и навыки их практического применения; 3 — при слабой теоретической подготовке владеют первоначальными практическими умениями и навыками работы; 4 — готовы теоретически и практически к осуществлению профессиональной деятельности

способности, общая культура, дисциплинированность (65%).

2. *Специально-профессиональные* — необходимые специалисту ВО:

- мотивационно-ценостные (преобладание мотивов социальной значимости в профессиональной деятельности; любовь к людям; чувство социальной справедливости, правопослушность) (43%);
- познавательно-регуляторные (высокий уровень интеллекта; оперативность, гибкость, самостоятельность и нестандартность профессионального мышления; умение анализировать и оценивать документы, криминальные события и оперативную обстановку; умение составлять психологический портрет лиц и групп; повышенная сенсорная чувствительность; профессионально развитое восприятие; устойчивое профессиональное внимание; развитое воображение; умение ориентироваться в обстановке в условиях дефицита времени; умение управлять собой; умение согласовывать свои действия с действиями других лиц; профессиональная наблюдательность; профессиональная память на местность, внешность и поведение человека; умение делать выводы из противоречивой информации и осуществлять прогноз; профессиональная бдительность) (72%);
- социально-коммуникативные (способность располагать к себе людей, вызывать у них доверие и быстро устанавливать контакт; коммуникабельность; тактичность и доброжелательность; умение слушать; способность улавливать настроение людей; умение выявлять их установки и ожидания; способность переубеждать;

умение отстаивать свою точку зрения; эмпатичность; свободное владение вербальными и невербальными средствами общения; умение психологически грамотно готовить и осуществлять профессиональное общение; выдержка, терпимость и самообладание в конфликтных ситуациях; способность к предупреждению и разрешению конфликтов; чувство юмора и артистизм) (52%);

— личностно-индивидуальные (чувство собственного достоинства, самоуважение, гордость, честь и совесть, активность, уверенность, устойчивость, обязательность, работоспособность, самостоятельность, самоконтроль, уравновешенность, интуиция, альтруизм, гуманность, справедливость, рефлексивность) (68%).

Анкетирование и интервьюирование сотрудников ОВД, работающих в подразделениях ВО, показывает, что они не в полной мере обладают выделенными личностно-профессиональными качествами (70% респондентов), не всегда справляются со своими функциональными обязанностями (62%) и нередко допускают ошибки в работе, наиболее типичными из которых считаются следующие: неумение правильно организовывать и контролировать свои действия, согласовывать их с действиями коллег (62%); неумение грамотно использовать новейшие технологии, применять и эксплуатировать сложные современные технические средства охраны (51%); допущение юридических ошибок в оформлении и оказании услуг по охране имущества, предусмотренных договорами с собственниками (48%); неумение творчески использовать профессиональные знания, умения и навыки в нестандартной ситуации (39%); неспособность быстро и самостоятельно ориентироваться в ситуации и применять имеющиеся знания, умения, навыки адекватно ей (39%); неспособность располагать к себе людей и устанавливать прочные профессиональные контакты (34%); неумение доброжелательно, культурно и продуктивно общаться (32%); неспособность всесторонне анализировать информацию (26%); неумение делать выводы из противоречивой информации (24%); неспособность прогнозировать ситуацию (17%); неправильное оценивание своих личностных качеств и поступков (15%) и др.

Анализ ответов респондентов позволяет сгруппировать сотрудников ОВД — специалистов ВО — по степени подготовленности к профессиональной деятельности (рис. 2).

Представленные на рис. 2 данные показывают острую необходимость совершенствования профессиональной подготовки кадров в образовательных учреждениях МВД России. Это связано с тем, что именно образовательные учреждения МВД являются

ся основным элементом в системе современного профессионального обучения специалистов для ВО.

Одним из основных условий совершенствования профессиональной подготовки специалистов для работы в системе безопасности является реализация комплексного подхода в обучении курсантов. Это означает соблюдение единства правового, нравственного, физического воспитания и профессиональной подготовки будущих специалистов в соответствии с требованиями профессиональной деятельности.

Вторым не менее важным условием служит применение личностно-ориентированного подхода в обучении. Данный подход предполагает как учет показателей личности курсантов в процессе управления учебной деятельностью в системе обучения специалистов в образовательных учреждениях МВД России, так и эффективную реализацию их

личностного потенциала в дальнейшем профессиональном самообучении, саморазвитии в конкретной области профессиональной деятельности, связанной с профилактикой и борьбой с имущественными преступлениями и пожарной безопасностью.

Таким образом, формирование указанных условий позволит на основе развития личностно-профессиональных качеств и повышения уровня профессиональной компетентности сотрудников обеспечить их конкурентоспособность в современных условиях рыночных отношений, значительно повысить эффективность функционирования систем охраны и пожарной безопасности объектов с учетом формирования комплексного подхода к оказанию охранных услуг, освоения новых технологий в области безопасности, внедрения технических средств охраны и пожарной сигнализации нового поколения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Членов А. Н., Дровникова И. Г. Социально-технические аспекты управления в интегрированной системе безопасности объектов // Материалы Всероссийской научной конференции "Социально-гуманитарные науки и практика государственного управления в России и за рубежом". — Воронеж: ВИЭСУ, 2000. — С. 72–74.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 14 августа 1992 г. № 589 "Положение о вневедомственной охране при органах внутренних дел Российской Федерации" (в ред. Постановлений Правительства РФ от 11.02.2005 г. № 66, от 04.08.2005 г. № 489, с изм., внесенным Постановлением Правительства РФ от 13.07.2004 г. № 349).
3. Савичев В. В. Внедомственная охрана на страже пожаров / Пожарная автоматика. — М.: Индустрия безопасности, 2006. — С. 16–18.
4. Суходольский М. И. Внедомственная охрана: новые функции и задачи / Охранная и пожарная сигнализация. Периметральные системы "ОПС-2005". — М.: Гротек, 2005. — С. 10, 11.
5. Радивил С. Гвардия охраны / Все о вашей безопасности. — 1999. — № 1. — С. 64–66.

Поступила в редакцию 01.06.07.



Канд. техн. наук, главный специалист Главгосэкспертизы России  
**A. V. Красавин**



Архитектор "Моспроект-2 им. М. В. Посохина"  
**T. С. Красавина**



Инженер Главгосэкспертизы России  
**N. A. Красильников**



Инженер Главгосэкспертизы России  
**A. I. Думилин**

УДК 614.841.315

## **РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА НОРМИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. БЫТЬ ИЛИ НЕ БЫТЬ?**

Проведен анализ состояния современной нормативной базы в строительстве. Исследованы позиции сторонников "жесткой" системы нормирования и специалистов, ориентированных на широкое внедрение расчетных обоснований.

Проблема, вокруг которой пойдет разговор в настоящей статье, далеко не нова. В последнее время очень много уже было сказано и написано о реформировании системы нормирования в строительстве. Актуальность проблемы объясняется ее необычайно высокой значимостью среди как архитекторов, инженеров, заказчиков, так и экспертов и специалистов, отвечающих за безопасность проектируемых и эксплуатируемых объектов (рис. 1).

Архитекторы и инженеры проектных организаций желают четко знать, на основании чего они могут и должны проектировать здания и сооружения.

Заказчиков проектируемых объектов интересует, в первую очередь, удобство их эксплуатации, максимально возможная эффективность использования выделяемых под строительство площадей, а также оригинальный и привлекательный внешний вид объектов. Перед экспертами и специалистами, отвечающими за предупреждение чрезвычайных ситуаций, при реформировании нормативной базы в строительстве стоят вопросы обеспечения безопасности людей на проектируемых, строящихся и впоследствии эксплуатируемых объектах.

### **Федеральный закон № 184-ФЗ “О техническом регулировании”**

Риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда

### **Федеральный закон № 184-ФЗ “О техническом регулировании”**

Статья 7: Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования

Способствует широкому внедрению расчетных обоснований уровня риска

Разработка многочисленных методик по различным вопросам безопасности и определению уровня риска

**Федеральный закон № 184-ФЗ “О техническом регулировании”**  
пункт 11 статьи 7 “Правила и методы исследований (испытаний) и измерений ... разрабатываются ...  
федеральными органами исполнительной власти ... и утверждаются Правительством Российской Федерации

Легитимность используемых методик под вопросом

**Рис. 1.** Вопросы разработки и использования расчетных методик в контексте положений Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ “О техническом регулировании”

Однако до настоящего времени определенной и общепринятой позиции в части применения нормативной базы к объектам капитального строительства нет. На практике приходится сталкиваться с самыми разными суждениями о правильности подходов к нормированию в строительстве по принципу “Сколько людей — столько мнений!”.

Подобная ситуация с разделением взглядов вполне предсказуемо сопровождается помимо многочисленных промежуточных позиций наличием представителей двух крайних сторон, одни из которых являются сторонниками “жесткой” системы нормирования, другие в большей степени ориентированы на расчетные обоснования.

Сторонники советской системы нормирования (жесткой системы) — как правило (но далеко не всегда) люди старшего поколения, с большой долей недоверия относящиеся ко всем видам обоснований вопросов безопасности, осуществляемых расчетным путем. Выступая за необходимость сохранения жесткой системы нормирования в строительстве, консерваторы приводят множество аргументов в защиту своей позиции, на которых мы остановимся несколько позднее.

Приверженцы расчетных обоснований — представители новой формации, скептически относящиеся к необходимости обязательного исполнения многочисленных требований нормативных документов. Основной упор данная категория специалистов делает на расчетные обоснования принятых проектных решений, небезосновательно считая, что будущее за “гибкой” системой нормирования в строительстве.

Но где же правда? Кто прав в большей степени — сторонники “жесткой” системы нормирования в строительстве или специалисты, ратующие за широкое применение расчетных обоснований? Для того чтобы разобраться в этом сложнейшем и интересующем всех вопросе, давайте обратимся к законодательным и нормативно-правовым аспектам, формирующим политику в данной области.

Началом реформирования нормативной базы в строительстве будем считать 2002 г., когда был принят Федеральный закон № 184-ФЗ “О техническом регулировании”, в соответствии с которым до 2010 г. страна должна перейти от существующей нормативной базы к обязательным для исполнения общим и специальным техническим регламентам. Недостаточно четкое толкование отдельных положений названного закона внесло смуту в сообщество специалистов, отвечающих за вопросы технического регулирования в самых различных отраслях.

Во-первых, Федеральный закон “О техническом регулировании” широко применяет понятие риска (см. рис. 1), который в соответствии с формулиров-

кой, данной в этом законе, означает *вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда*.

Сегодня в системе обеспечения пожарной безопасности существует немало как отечественных, так и зарубежных расчетных методик определения уровня риска, в том числе уровня огнезащиты и огнестойкости строительных конструкций, требуемого уровня обеспечения пожарной безопасности людей, включающих расчеты фактического времени их эвакуации и критической продолжительности пожара, и другие методики.

Вместе с тем, как бы хороши ни были существующие расчетные методики, как бы точно с помощью них ни определяли реальные уровни пожарных рисков, все они не являются официально признанными методиками. Так, в части определения уровня обеспечения пожарной безопасности людей до настоящего времени единственной аттестованной является методика, представленная в обязательном приложении № 2 к межгосударственному стандарту ГОСТ 12.1.004—91\* “Пожарная безопасность. Общие требования”. Впоследствии эта методика с небольшими изменениями была продублирована в приложении III к государственному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 12.3.047—98 “Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля”.

Таким образом, пользоваться и официально ссылаться на те или иные расчетные методики, кроме представленной в ГОСТ, не корректно.

При пожаре с человеческими жертвами на любом объекте, безопасная эвакуация людей из которого была обоснована расчетом, выполненным по любой, самой передовой, но не утвержденной в соответствующих инстанциях и не прошедшей государственную регистрацию методике, прокурор небезосновательно будет иметь самые серьезные претензии к авторам расчетов со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Даже в случае принятия и введения в действие общего технического регламента “Об общих требованиях пожарной безопасности”, в соответствии с проектом которого пожарную безопасность проектируемых объектов возможно будет обосновывать расчетом, ситуация с легитимностью расчетных методик не изменится (см. рис. 1). Так, в пункте 11 статьи 7 “Содержание и применение технических регламентов” Федерального закона “О техническом регулировании” говорится, что “*правила и методы исследований (испытаний) и измерений, необходимые для применения технических регламентов*,

разрабатываются с соблюдением положений статьи 9 “Порядок разработки, принятия, изменения и отмены технического регламента” федеральными органами исполнительной власти в пределах их компетенции и утверждаются Правительством Российской Федерации”.

На основании вышеизложенного измерение уровня пожарных рисков возможно будет осуществлять только строго по методикам, утвержденным Правительством Российской Федерации.

Следующее, что в Федеральном законе “О техническом регулировании” с момента его вступления в силу и до настоящего времени подвержено самым остройм дискуссиям и на что бытуют самые различные точки зрения, — это статья 46 “Переходные положения”.

Пункт 1-й данной статьи гласит: “Со дня вступления в силу настоящего Федерального закона впредь до вступления в силу соответствующих технических регламентов требования к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, подлежат обязательному исполнению только в части, соответствующей целям:

защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;

охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений...”.

Вокруг этой статьи в системе обеспечения пожарной безопасности ведутся оживленные непрекращающиеся споры относительно того, как определить ту часть какого-либо нормативного документа, которая подлежит обязательному исполнению. Одни заявляют, что все ГОСТы, СНиПы, НПБ и другие нормативные документы носят рекомендательный характер и не являются догмой при проектировании. Другие утверждают обратное, говоря, что все существующие требования нормативных документов по-прежнему должны обязательно выполняться. Третьи считают, что обязательному исполнению подлежат только те нормативные документы, которые были введены в действие до вступления в силу Федерального закона “О техническом регулировании” и прошли государственную регистрацию в Министерстве юстиции Российской Федерации, все остальные документы носят рекомендательный характер.

Так кто же прав, где истина?

Неоднозначная позиция в отношении вопроса “какие СНиПы действуют?” до недавнего времени

была даже в самых высших кругах — среди руководителей различных министерств.

Так, будем следовать в хронологическом порядке, главный государственный инспектор Российской Федерации по пожарному надзору 25 апреля 2005 г. обратился в Министерство юстиции за разъяснениями по вопросу правомочности действия нескольких СНиП, не прошедших государственную регистрацию. В ответ на данное обращение Министерство юстиции России сообщило (исх. от 31.05.2005 г. № 01-1529), что СНиПы, не прошедшие государственную регистрацию, в том числе СНиП 41-01-2003 “Отопление, вентиляция, кондиционирование”, СНиП 31-05-2003 “Общественные здания административного назначения”, СНиП 31-01-2003 “Здания жилые многоквартирные”, СНиП 21-01-2003 “Склады лесных материалов. Противопожарные нормы”, не влекут правовых последствий как невступившие в силу и не могут служить основанием для регулирования соответствующих правоотношений, т.е. не являются обязательными для исполнения.

Однако уже год спустя письмом от 28 апреля 2006 г. № 01/3472-Е3 Министерство юстиции РФ сообщило, что им принято решение не рассматривать СНиПы на предмет их государственной регистрации с учетом их нормативно-технического характера и положений Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ “О техническом регулировании”.

Таким образом, указанные строительные нормы и правила подлежат обязательному исполнению наряду с другими аналогичными нормами, принятыми ранее и зарегистрированными Минюстом России в установленном порядке, в соответствии с пунктом 1 статьи 46 Федерального закона “О техническом регулировании” впредь до вступления в силу соответствующих технических регламентов, о чем говорится в совместном письме от 29.11.2006 г., подписанном заместителем министра промышленности и энергетики РФ и заместителем министра регионального развития РФ.

Итак, в какой все-таки части, применительно к системе обеспечения пожарной безопасности, нормативные документы подлежат обязательному исполнению и какие их требования носят рекомендательный характер? При анализе тех или иных требований СНиП, имеющих самое разное по значимости, пусть даже ничтожно малое, отношение к пожарной безопасности проектируемого объекта, всегда напрашивается вывод, что все эти требования без исключения направлены на выполнение целей, указанных в пункте 1 статьи 46 Федерального закона “О техническом регулировании”, т.е. на защиту жизни или здоровья граждан, имущества фи-

зических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества. Потому все требования нормативных документов, в той или иной мере касающиеся вопросов обеспечения пожарной безопасности и прямо или косвенно влияющие на предотвращение возникновения и распространения пожара, противопожарную защиту объектов и, как следствие, на эвакуацию людей, критическую продолжительность пожара и снижение материального ущерба, ни в коей мере не могут носить рекомендательный характер и подлежат обязательному исполнению.

Однако, о чем уже говорилось выше, на вопрос о необходимости обязательного исполнения требований нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности существуют самые разные, в том числе и кардинально противоположные, точки зрения.

Сторонники “жесткой” системы нормирования придерживаются позиции строгого соблюдения требований нормативных документов и характеризуются, как правило, весьма высоким уровнем знаний требований строительных норм и правил, государственных стандартов, норм пожарной безопасности и других нормативных документов. Прекрасно зная узкие или противоречивые места требований, заложенных в нормах, сторонники “жесткого” нормирования охотно пользуются этим, диктуя их по своему усмотрению, сообразно желаниям заказчика.

Консервативно настроенные специалисты обосновывают необходимость сохранения своей жесткой позиции чрезмерно высокими показателями гибели людей при пожарах, настаивая на том, что при отказе от обязательного соблюдения требований нормативных документов на строительном рынке будет твориться полный беспредел, зачатки которого уже видны сегодня, что неминуемо приведет к резкому снижению реального уровня безопасности людей на проектируемых и строящихся не по СНиПам объектах.

Достаточно высокая активность сторонников “жесткой” системы нормирования объясняется не только радением за светлую и безопасную жизнь общества в проектируемых по нормам объектах, но и их боязнью стать невостребованными системой, в которой нормы носят рекомендательный характер. При этом одними из главных минусов такой позиции являются (рис. 2):

- во-первых, сложность проектирования индивидуальных объектов, имеющих свои проектные решения в той или иной части, в большей или меньшей степени не совпадающие с решениями, изложенными в строительных нормах и правилах. Для этого, как известно, требуются дополнительные согласования в различных инстанциях, что в определенной мере противоречит концепции административной реформы в Российской Федерации в 2006–2008 гг., одобренной распоряжением Правительства РФ от 25.10.2005 г. № 1789-р, предусматривающей снижение административной нагрузки;
- во-вторых, проблемы, связанные с невозможностью отказа от обязательного выполнения одних требований пожарной безопасности в пользу других, дополнительных, более целесообразных и экономически эффективных применительно к конкретным объектам и не снижающих их уровень противопожарной защиты, так как это будет являться несоблюдением обязательных требований нормативных документов;
- в-третьих, что частично вытекает из второго, “жесткие” подходы к нормированию в строительстве не способствуют внедрению новых прогрессивных методов и технологий, направленных на предотвращение возникновения пожара и противопожарную защиту различных объектов. Итак, кратко рассмотрев позицию сторонников “жесткой” системы нормирования, давайте проанализируем подходы представителей, придерживающихся противоположной точки зрения, — специалистов, ориентированных на расчетные обоснова-

#### Основные недостатки позиции представителей “жесткой” системы нормирования

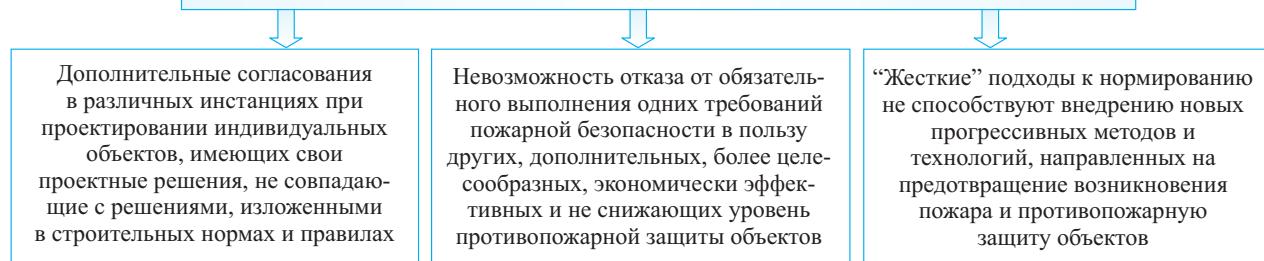


Рис. 2. Минусы позиции представителей “жесткой” системы нормирования

ния необходимого уровня противопожарной защиты проектируемых объектов.

Главный лозунг сторонников расчетов заключается в том, что в эпоху рыночной экономики, кардинально отличающейся от советских времен многообразием форм собственности, когда почти все было государственное, невозможно не учитывать индивидуальные интересы собственников проектируемых объектов. Потому приверженцы расчетов настаивают на праве собственников индивидуально подходить к обеспечению пожарной безопасности того или иного конкретного объекта, разрабатывая так называемые адресные системы противопожарной защиты, обязательной составляющей которых является обеспечение безопасности людей и чужого имущества.

В подтверждение правильности своей позиции представители "гибкой" системы нормирования приводят статью 55 Конституции Российской Федерации, статьи 1 и 2 Гражданского кодекса РФ, в соответствии с которыми собственники имеют право свободно распоряжаться своим имуществом, не создавая при этом угрозы людям и чужим интересам. Таким образом, сторонники расчетных обоснований трактуют статью 46 Федерального закона "О техническом регулировании" в свете приведенных выше положений Конституции и Гражданского кодекса, утверждая, что большинство требований нормативных документов носит рекомендательный характер и обязательному исполнению не подлежит.

Критикуя подходы сторонников "жесткой" системы нормирования, специалисты, ориентированные на расчеты, говорят о том, что жесткое навязывание высокозатратных и зачастую малоэффективных противопожарных мероприятий снижает технико-экономические показатели проектируемого объекта.

Позиция представителей, ратующих за широкое внедрение расчетных обоснований, как и сторонников "жесткой" системы нормирования, имеет несколько минусов, основными из которых являются (рис. 3):

1. Наличие большого количества условностей, допущений, слабых мест в имеющихся методиках, существенным образом влияющих на точность результатов расчетов. Данный фактор, заключающийся в весьма приближенных вычислениях уровня риска, далеко не всегда совпадающих с реальной ситуацией в области безопасности на конкретном объекте, не позволяет в полной мере основываться на имеющихся расчетах при принятии решения о достижении требуемого уровня пожарной безопасности.

2. Недобросовестное отношение многих специалистов к выполнению расчетных обоснований, негативно отражающееся на качестве и объективности проводимых расчетов. На практике нередко имеют место неправомерная корректировка исполнителями расчетов исходных данных, изменение промежуточных значений в расчетах с целью подгонки под требуемый результат.

3. Наличие целого спектра отличающихся друг от друга программных продуктов по тем или иным вопросам пожарной безопасности объектов, не сертифицированных и не утвержденных должным образом в соответствии с требованиями федерального законодательства, что не добавляет ясности в проводимые расчеты и негативным образом оказываеться на их легитимности.

Обзор принятых в зарубежных странах подходов к нормированию и расчетным обоснованиям противопожарной защиты различных объектов останется за рамками настоящей статьи и будет представлен вниманию читателей несколько позже, в ближайших номерах журнала.

Таким образом, кратко проанализировав подходы различных сторон, авторы не приходят к четкому пониманию вопроса "кто прав в большей степени?".

Вместе с тем, в заключении статьи хочется отметить катастрофически высокие пожарные риски в нашей стране, связанные как с социально-экономическими, так и с техническими вопросами обеспечения безопасности людей на объектах различных категорий.

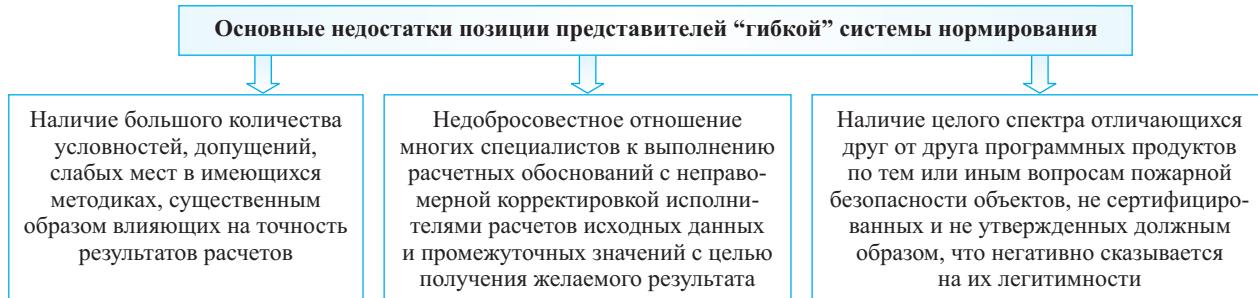


Рис. 3. Минусы позиции специалистов, ориентированных на расчетные обоснования

Самые высокие в мире показатели гибели людей при пожарах, как известно, в России, что объективно должно заставлять и заказчиков, и проектировщиков, и экспертов закладывать в проекты максимально эффективную систему обеспечения пожарной безопасности с привлечением самых современных научно-технических разработок и технологий противопожарной защиты, даже если для этого требуется вкладывать дополнительные ресурсы и вносить корректировки в принятые проектные решения.

Дополнительным аргументом в защиту вышеизказанного и в подтверждение необходимости повышения противопожарной защиты проектируемых, реконструируемых и ремонтируемых объектов капитального строительства является наш российский менталитет. Всему миру хорошо известно, что если в инструкциях, правилах, регламен-

тах и т.п. записаны какие-то обязательные для исполнения требования, то значит их нужно выполнять, и необходимость их выполнения ни у кого не вызывает сомнений. Однако это каким-то таинственным образом ни в коей мере не распространяется на Россию. Поэтому в процессе проектирования, монтажа или эксплуатации объектов реальная безопасность может значительно отличаться от требуемой и заложенной в предпроектных решениях по причине грубейших нарушений положений нормативных документов, направленных на обеспечение пожарной безопасности.

*Авторы статьи не считают себя вправе делать на сегодняшний день какие-то выводы в пользу какой-либо из точек зрения и приглашают читателя к дискуссии по данному вопросу.*

Поступила в редакцию 10.05.07.



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



Инженер ФГУП “Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
авиационных материалов (ВИАМ)”  
**О. С. Вольный**



Ведущий инженер ФГУП “Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
авиационных материалов (ВИАМ)”  
**Т. Ф. Изотова**

УДК 614.841.345:629.7.042.2

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

С использованием математической модели прогрева и термодеструкции слоистого тела проведены расчеты скорости выделения тепла при горении под воздействием внешнего теплового потока для стеклопластика на основе поликарбоната различной толщины. Усовершенствована математическая модель, позволяющая учитывать влияние толщины образца на характеристики тепловыделения. Полученные расчетные результаты сопоставлены с экспериментальными данными.

Характеристики пожарной опасности, определяющие допустимость применения того или иного материала или элемента конструкции в какой-либо отрасли хозяйства, регламентируются соответствующими нормативными документами. Так, при использовании материалов в авиационной технике необходимо пользоваться “Авиационными правилами”. В частности, требования для пассажирских самолетов описываются в Главе 25 [1]. В соответствии с этими нормами элементы конструкций интерьера пассажирского салона (панели стен, перегородок, потолка и т.п.) должны отвечать требованиям по горючести, дымообразующей способности и тепловыделению при горении.

При разработке новых материалов желательно иметь математическую модель, позволяющую предсказывать влияние различных внешних факторов и характеристик образца на получаемые результаты. Эта математическая модель дает возможность выявить наиболее критичные параметры и задать определяющие направления совершенствования используемых и разрабатываемых полимеров.

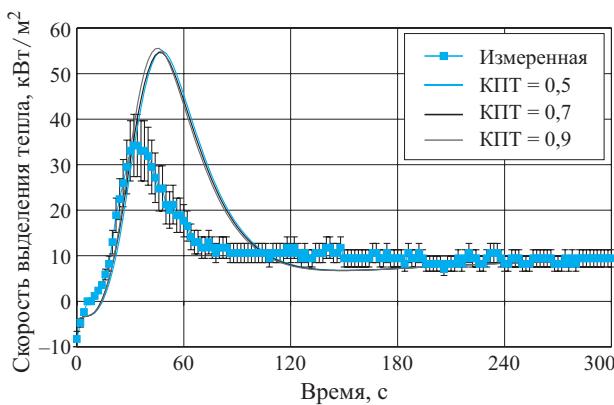
Ранее [2] была приведена математическая модель, позволяющая описывать процессы прогрева — термодеструкции — горения твердых многослойных материалов, подвергающихся воздействию внешнего теплового потока заданной интен-

сивности и рассчитывать на основании имеющихся справочных данных (теплоемкость, теплопроводность, теплота термодеструкции и сгорания, коксовое число и др.) кинетику выделения тепла при горении. Расчетные данные были сопоставлены с экспериментально полученными результатами.

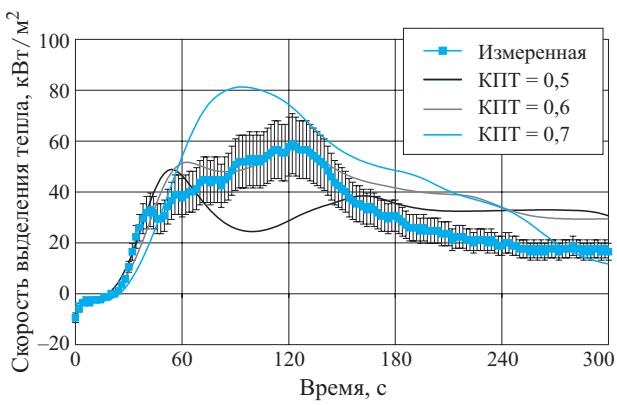
В данной работе рассматриваются вопросы влияния толщины образца на процессы, протекающие при его нагреве и, в конечном итоге, на кинетику скорости выделения тепла при горении, а также произведена оценка влияния некоторых сделанных допущений на получаемые результаты.

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. Описание аппаратуры и методика испытаний приведены в “Авиационных правилах”, Глава 25, Приложение F, Часть IV [1, 2]. Подробное описание использованной математической модели прогрева и термодеструкции многослойного материала дано в публикации [2].

Необходимые для расчетов константы взяты из работ [3, с. 127; 4, с. 77; 5, с. 18]. Температура начала термодеструкции на основании данных термогравиметрического и дифференциального термиче-



**Рис. 1.** Экспериментальный и расчетные (при различных значениях коэффициента передачи тепла КПТ) графики тепловыделения при горении стеклопластика толщиной 0,28 мм

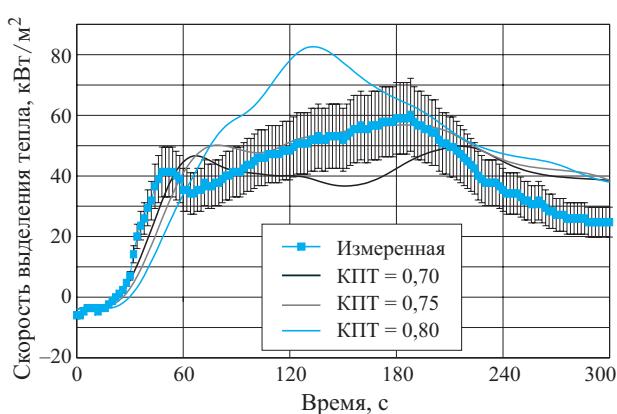


**Рис. 2.** Экспериментальный и расчетные (при различных значениях коэффициента передачи тепла КПТ) графики тепловыделения при горении стеклопластика толщиной 1,0 мм

ского анализа<sup>\*</sup> образца материала находится в интервале 355°C (начало потери массы) – 425°C (10% потеря массы). При расчетах температура начала термодеструкции была принята равной 400°C.

В зависимости от конкретного изделия и функционального назначения элемента конструкции может применяться один и тот же полимерный материал различной толщины. Изменение толщины образца приводит к существенному трансформированию кинетики выделения тепла [6], причем изменение носит нелинейный характер. Были выполнены эксперименты по определению скорости выделения тепла при горении для образцов стеклопластика с толщиной от 0,28 до 4,5 мм при интенсивности падающего теплового потока 35 кВт/м<sup>2</sup>. В качестве исследуемого материала был выбран стеклопластик следующего состава: бромсодержащий поликарбонат марки ПС-Н и полая стеклоткань Т-15(П)-76 в соотношении (38–40):(60–62). Из чередующихся слоев пленки и стеклоткани собирали пакет необходимой толщины. Образцы получали прессованием пакета в предварительно нагретом прессе при следующих условиях: температура — (260±5)°C, ступенчатый подъем давления — до 1,5 МПа, время выдержки при прессовании — от 30 мин (стеклопластики толщиной 0,28–1,9 мм) до 50 мин (стеклопластик толщиной 4,5 мм).

Для стеклопластиков каждой толщины проводили по три параллельных испытания. На основании полученных данных строили график средней скорости выделения тепла при горении. Разброс экспериментальных значений укладывается в 20%-ный доверительный интервал относительной погрешности.

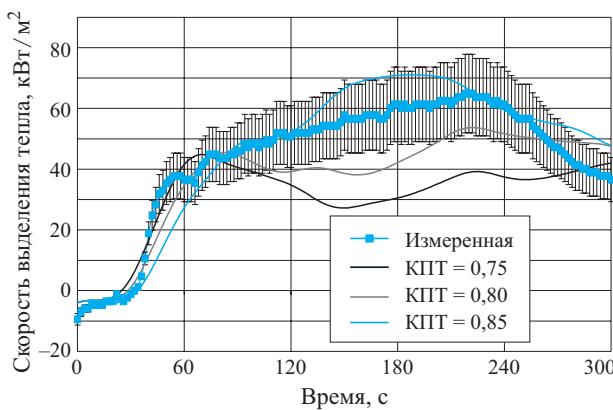


**Рис. 3.** Экспериментальный и расчетные (при различных значениях коэффициента передачи тепла КПТ) графики тепловыделения при горении стеклопластика толщиной 1,45 мм

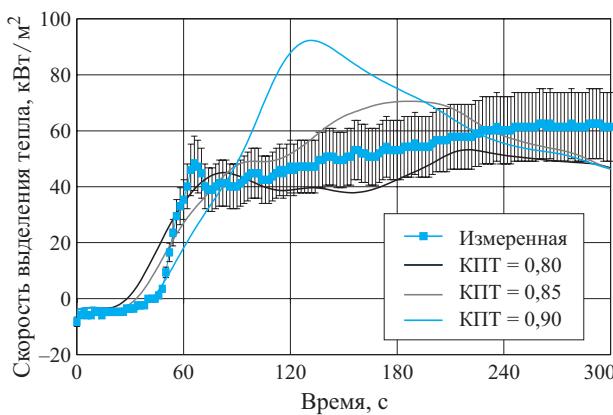
С использованием математической модели [2] были выполнены расчеты, на основании которых строился расчетный график скорости выделения тепла для каждой заданной толщины данного стеклопластика при выбранной интенсивности теплового потока. Отличием использованной математической модели от описанной являлось то, что в уравнение скорости выделения тепла был введен добавочный член, учитывающий поглощение тепла при нагреве образца и образование за счет этого отрицательного тепловыделения в начальный период времени.

Экспериментальные и расчетные графики скорости выделения тепла при горении приведены на рис. 1–6.

\* Термогравиметрический TG и дифференциальный термический DTA анализы проводили на дериватографе Q 1500 D системы F.Paulik, D.Paulik, L.Erdey фирмы "МОМ", среда — воздух, скорость нагрева — 10 °C/мин. Испытания осуществлены в ФГУП ВИАМ Т. В. Румянцевой.



**Рис. 4.** Экспериментальный и расчетные (при различных значениях коэффициента передачи тепла КПТ) графики тепловыделения при горении стеклопластика толщиной 1,9 мм

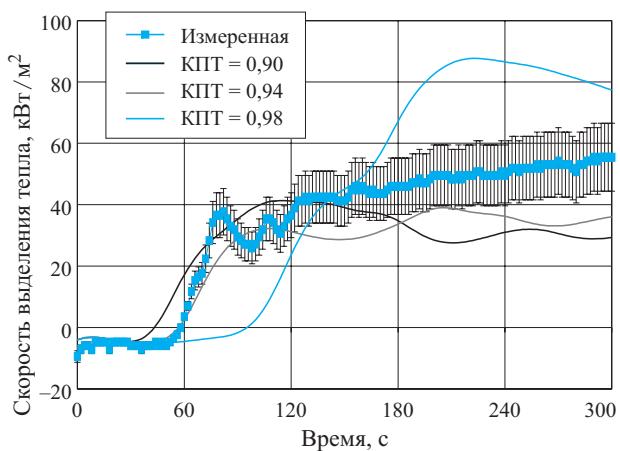


**Рис. 5.** Экспериментальный и расчетные (при различных значениях коэффициента передачи тепла КПТ) графики тепловыделения при горении стеклопластика толщиной 3,1 мм

Только для очень тонкого стеклопластика (менее 0,3 мм) изменение коэффициента передачи тепла (КПТ) не оказывает влияния на вид расчетной кривой тепловыделения. Это объясняется быстрым прогревом всего объема образца независимо от величины КПТ. Для остальных образцов ход расчетной кривой скорости тепловыделения существенным образом зависит от заданной величины эмпирического коэффициента передачи тепла от каждого нагретого слоя последующим слоям, т.е. уравнение математической модели [2, уравнение (3в)] имеет вид:

$$q_{\text{вых}} = \text{КПТ}(T_n - T_{n+1}) m_n C_p F_{\text{оп}, n} F_{\text{оп}, n+1},$$

где  $q_{\text{вых}}$  — количество тепла, переходящее от  $n$ -го к  $n+1$ -му слою,  $\text{kBT}/\text{m}^2$ ;  
 $T$ ,  $m$ ,  $C_p$ ,  $F_{\text{оп}, n}$ ,  $F_{\text{оп}, n+1}$  — температура (К), масса слоя ( $\text{г}/\text{м}^2$ ), теплоемкость ( $\text{Дж}/(\text{г}\cdot\text{К})$ ) и



**Рис. 6.** Экспериментальный и расчетные (при различных значениях коэффициента передачи тепла КПТ) графики тепловыделения при горении стеклопластика толщиной 4,5 мм

приведенный критерий Фурье для  $n$ -го и  $n+1$ -го слоев соответственно.

КПТ не является постоянной величиной, а зависит от толщины (массы, теплопроводности, теплоемкости) образца. Это объясняется изменением условий теплопередачи от слоя к слою в зависимости от толщины образца, а следовательно, и времени прогрева слоев до температуры начала термодеструкции.

На основе минимизации среднеквадратичных отклонений расчетных значений скорости выделения тепла от экспериментальных данных для всего периода испытаний были определены оптимальные значения КПТ для каждой толщины стеклопластика, который изменялся в пределах от 0,58 до 0,96.

Таким образом, чтобы обеспечить возможность прогнозирования скорости выделения тепла необходимо определить зависимость КПТ от изменяющегося параметра. С учетом теоретических предпосылок величина этого коэффициента может изменяться в пределах от 0 (передача тепла от слоя к нижележащим слоям отсутствует) и 0,5 (передача тепла от одного тонкого слоя другому такому же — математически тонкий двухслойный образец) до 1,0 (передача тепла от одного тонкого слоя к последующим существенно превосходящим его по массе слоям — математически бесконечно толстый образец).

Можно предположить, что величина КПТ от слоя к слою будет меняться по экспоненциальному закону:

$$\text{КПТ} = 1 - AB^{-y},$$

где  $A$ ,  $B$  — постоянные коэффициенты;  
 $y$  — изменяющаяся величина.

В качестве изменяемой величины может быть выбрана переменная, учитывающая изменение параметров образца (толщины, массы, теплоемкости, теплопроводности). Так как в данном случае сделано допущение о постоянстве значений теплоемкости и теплопроводности, то в качестве переменной у желательно взять одну толщину, не учитывая влияние других факторов.

Для определения КПТ перенесем единицу из правой части в левую и прологарифмируем выше-приведенное уравнение. Получаем:

$$\ln(1 - \text{КПТ}) = -\ln B \cdot \delta + \ln A,$$

где  $\delta$  — толщина образца, мм.

Коэффициент угла наклона этой прямой, взятый с противоположным знаком, равен величине натурального логарифма коэффициента  $B$ , а свободный член — логарифму  $A$ .

Полученный график приведен на рис. 7. Со степенью достоверности  $> 0,9$  получаем, что коэффициенты уравнения имеют следующие значения:  $B = 1,77$ ,  $A = 0,66$ , т.е. величина КПТ может быть рассчитана по уравнению:

$$\text{КПТ} = 1 - 0,66 \cdot 1,77^{-\delta}.$$

Заменяя основание степени 1,77 на  $e$  и учитывая, что  $\ln 1,77 \approx 0,57$ , получаем:

$$\text{КПТ} = 1 - 0,66e^{-0,57\delta}.$$

Тогда уравнение передачи тепла от одного слоя к последующему в математической модели прогрева и термодеструкции слоистого тела может быть записано следующим образом:

$$q_{\text{вых}} = (T_n - T_{n+1}) m_n C_p F_{\text{о}, n} F_{\text{п}, n+1} (1 - 0,66e^{-0,57\delta}).$$

Из рис. 1–6 видно, что расчетные графики достаточно хорошо описывают экспериментальный ход кривой скорости выделения тепла, однако наблюдаются некоторые отклонения в ходе расчетных кривых.

Первое отклонение, характерное для тонкого стеклопластика, дает расчетные значения скорости выделения тепла, превосходящие экспериментально полученные значения на 15–20 кВт/м<sup>2</sup>. Это может быть вызвано относительно большей долей теплопотерь от образца на нагрев держателя и реакционной камеры.

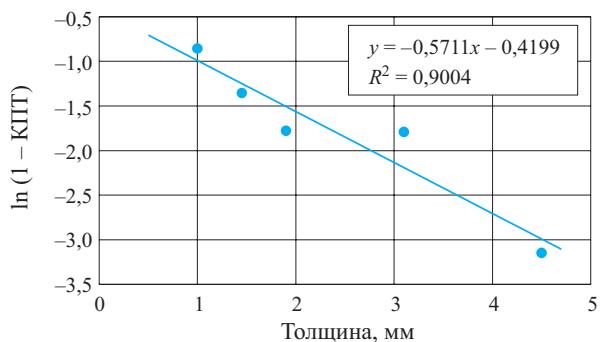


Рис. 7. Линия аппроксимации функции  $\ln(1 - \text{КПТ})$  от толщины стеклопластика

Второе отклонение, существующее в период времени 120–300 с и проявляющееся для стеклопластика толщиной 1,0 мм, дает превышение расчетной кривой над экспериментальной. По всей видимости, это связано с недостаточно точным описанием процессов передачи тепла и газообразных продуктов термодеструкции через выгоревшие и закоксовые слои материала, когда интенсивность горения материала снижается. При испытаниях более толстых стеклопластиков процесс интенсивного горения, и, соответственно, выделения тепла продолжается более длительное время, поэтому это расхождение существенно меньше.

Зафиксированные отклонения не носят принципиального характера, но при дальнейшей работе желательно произвести уточнения математической модели, позволяющие уменьшить отклонение расчетных кривых от экспериментальных данных.

## Выводы

Проведено уточнение математической модели прогрева и термодеструкции слоистого тела, используемой для расчета скорости выделения тепла при горении материалов под воздействием внешнего теплового потока. Математическая модель прогрева и термодеструкции слоистого тела, использующая уточненные уравнения прогрева материала, позволяет адекватно описывать процесс теплопередачи при нагреве материалов и рассчитывать скорость выделения тепла при горении стеклопластиков различной толщины, включая начальный этап прогрева образца.

Обнаруженные отклонения в ходе расчетных кривых от экспериментальных значений не носят принципиального характера.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. — М.: Межгосударственный авиационный комитет, Изд-во ЛИИ им. М. М. Громова, 1994. — 322 с.
2. Барботько С. Л. Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16. — № 3. — С. 10–24.
3. Асеева Р. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М.: Наука, 1981. — 280 с.
4. Горючесть и дымообразующая способность полимерных материалов авиационного назначения: Справочно-методическое пособие. — М.: ВИАМ, 1986. — 104 с.
5. Полимерные материалы с пониженной горючестью. — М.: Химия, 1986. — 224 с.
6. Барботько С. Л., Воробьев В. Н., Изотова Т. Ф. Исследование влияния толщины композиционных материалов на показатели пожарной опасности // Сборник докладов VI Научной конференции по гидроавиации “Гидроавиасалон–2006”, 6–10 сентября 2006 г. Часть II. — М.: ЦАГИ. — С. 154–158.

Поступила в редакцию 15.06.07.



**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**



Преподаватель кафедры  
ЕНД Восточно-Сибирского  
института МВД РФ  
**А. А. Шеков**



Д-р хим. наук, ведущий научный  
сотрудник Лимнологического  
института СО РАН  
**Б. В. Анненков**



Канд. хим. наук, старший научный  
сотрудник Лимнологического  
института СО РАН  
**Е. Н. Даниловцева**



Канд. хим. наук, доцент кафедры  
ОиЭ в ГПС Восточно-Сибирского  
института МВД РФ  
**А. Н. Егоров**

УДК 536.468:614.841.1

## ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ СТВОРОК ДИАТОМЕЙ

Изучено влияние кремнистых створок диатомей на горючесть и термостабильность поливинилхлоридных пластизолов. Существенное снижение горючести наблюдается при введении 2–3% створок диатомей. При этом достигаются хорошие физико-механические свойства по сравнению с высоконаполненными поливинилхлоридными материалами.

### Введение

**В** настоящее время поливинилхлорид (ПВХ) является одним из самых распространенных многотоннажных продуктов в мировой полимерной промышленности. Его производство составляет более 30 млн т/год [1, 2], т.е. приблизительно 20% всего объема полимерной продукции.

ПВХ в своем составе содержит около 56% хлора, поэтому он относится к полимерам пониженной горючести и воспламеняемости. Получение конкретных изделий из ПВХ требует введения в состав полимерной композиции различных органических добавок: пластификаторов, стабилизаторов, красителей и т.д. Это приводит к снижению содержания хлора в композиции и повышает горючесть изделия. Поскольку большинство промышленных пластификаторов являются горючими, то наиболее актуальной проблемой выступает снижение горючести и воспламеняемости пластифицированных ПВХ изделий. Например, при повышении содержания пластификатора до 60 масс. ч. на 100 масс. ч. ПВХ кислородный индекс (КИ) пластика практически равен КИ используемого пластификатора [3]. При этом в производстве пластика используют от 30 до 90 масс. ч. пластификатора.

Снижение горючести достигается введением в композицию наполнителей и замедлителей горения. Поиск оптимальной рецептуры является сложной задачей, поскольку для каждого конкретного изделия, как правило, осуществляется эмпирическим путем.

Среди наполнителей, наиболее широко используемых в производстве изделий на основе композиций ПВХ, лидирующие позиции занимают карбонат кальция (до 60%), гидрооксид алюминия (10%) и тальк (10%). Каолин, слюда, волластонит, бариты и другие наполнители менее востребованы на мировом рынке [4].

В работе [5] в качестве наполнителей, снижающих горючесть ПВХ материалов, предлагалось использовать дешевые природные минералы, такие как вермикулит и флогопит. Наибольший эффект достигался при их содержании около 15% от массы продукта. Высокая степень наполнения и плохое сцепление частиц минералов с полимером способствовали снижению прочности и относительного удлинения при разрыве получаемых образцов. В этой связи представляло интерес изучить свойства ПВХ пластизолов, наполненных пористым материалом с развитой поверхностью. В качестве наполнителей использовали диатомит и створки природных диатомей рода *Stephanodiscus*.

### Экспериментальная часть

Объектами исследования являлись пластизоли на основе ПВХ-Е-6250Ж производства ООО “УсольеХимпром”, стабилизатор — кадмий-барий стеарат соосажденный (ТУ 6-09-17-319-96), пластификатор — диоктилфталат (ДОФ), наполнитель — диатомит.

Предварительно тщательно смешивали сухую часть композиции (100 масс. ч. ПВХ, 2 масс. ч. ста-

билизатора, 2–5 масс. ч. наполнителя). Затем в композицию добавлялся пластификатор (65 масс. ч.) небольшими порциями; полученную массу выдерживали в течение 2–4 ч для набухания частиц ПВХ и выхода растворенного воздуха, а затем наносили на полированную жесть. После этого композиции выдерживали в сушильном шкафу 9–12 мин при 150–165°C. Толщина получаемых образцов полимерных композиционных материалов составляла около 3 мм.

Горючность пластизолей определяли на установке ОТМ в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89.

Исследование термостабильности материалов проводили с использованием прибора синхронного термического анализа STA 449 Jupiter. Навеску образца массой 9–25 мг нагревали от 35 до 1000°C со скоростью 10°C/мин в токе газа. В зависимости от условий опыта газ состоял из аргона (10 мл/мин) или смеси аргона с кислородом (Ar — 10 мл/мин, O<sub>2</sub> — 10 мл/мин). Контроль качественного и количественного составов выделяющихся газовых продуктов термолиза производили с помощью масс-спектрометра Aeolos в диапазоне массовых чисел от 1 до 200.

### Результаты и их обсуждение

Диатомит представляет собой осадочную породу, состоящую, главным образом, из окаменелых кремнистых створок диатомовых водорослей с незначительной примесью глины (рис. 1, а). Низкая насыпная плотность диатомита (0,35 г/см<sup>3</sup>) позволяет при степени наполнения около 2,5% получать объем материала ПВХ, соответствующий 11% вермикулита или флогопита. При этом добавки диатомита (2,3%) значительно повышают предел прочности при разрыве на 3,75, 7,0 и 7,6 Н/м<sup>2</sup> и относительное удлинение материалов на 47,0, 78,5 и 83,0% по сравнению с ненаполненной композицией, а также содержащей 10,7% вермикулита или флогопита соответственно.

При исследовании горючести образцов пластизолей установлено, что увеличение содержания диатомита в составе пластизолей до 2,3% приводит к снижению максимальной температуры продуктов горения  $t_{\max}$  на 220°C (табл. 1) и средней скорости ее изменения с 3,1 до 2,2°C/c.

При испытании пластизолей наполненный образец по сравнению с ненаполненным в 1,5–2,0 раза увеличился в объеме и образовывал кокс с целостной структурой. Высокая пористость образующегося пенококса приводит к увеличению его теплоизолирующей способности, в результате чего обычно наблюдается снижение горючести полимерного материала [6].

**Таблица 1.** Горючесть ПВХ композиций с добавками диатомитом

№ п/п	Вид наполните- теля	Содержание наполнителя		Потеря массы, %	$t_{\max}$ , °C	$\tau_{\max}$ , с	Средняя скорость роста тем- пературы, °C/c
		масс. ч.	%				
1	—	—	—	91,0	540	174	3,1
2		2	1,2	89,6	510	182	2,8
3		3	1,8	89,1	450	189	2,4
4	Диатомит	4	2,3	88,3	320	145	2,2
5		5	2,9	89,8	450	170	2,6
6		2	1,2	87,9	500	167	3,0
7	Створки диатомей	3	1,8	90,8	240	139	1,73
8	рода <i>Step- hanodiscus</i>	4	2,3	88,0	355	193	1,84
9		5	2,9	88,8	390	205	1,9

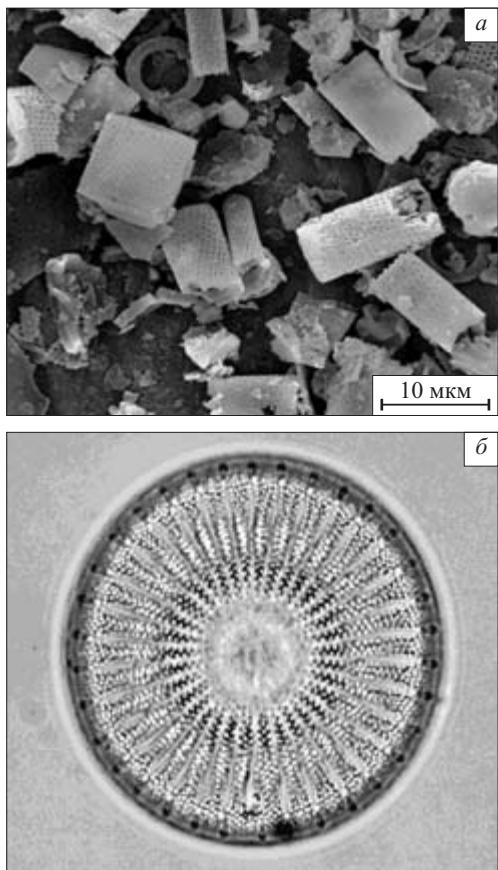
*Примечание.*  $\tau_{\max}$  — время достижения максимальной температуры отходящих газообразных продуктов горения материала.

Формирование развитого пенококса является следствием карбонизации в процессе горения уже вспененного расплава ПВХ композиции. Вероятно, объединению пузырьков препятствует высокая вязкость расплава, связанная с армированием его частицами наполнителя. Увеличение содержания наполнителя более 2,3% ведет к росту горючести полимера, что вызвано поглощением пластификатора частицами диатомита и ухудшением однородности конечного материала.

Наполнитель, получаемый из природных диатомей рода *Stephanodiscus* (рис. 1, б), имеет низкое содержание примесей глины и других компонентов, забивающих его поры. Это способствует увеличению прочности сцепления наполнителя с полимерной матрицей, и, вероятно, изменению теплопроводности получаемого материала.

Исследование горючести пластизолей показало, что наибольший огнезащитный эффект достигается при содержании створок диатомей в количестве 1,8% (см. табл. 1). При данной степени наполнения максимальная температура продуктов горения 240°C достигалась за 139 с. Средняя скорость изменения температуры по сравнению с ненаполненным пластизолем снижается почти в 2 раза.

При увеличении содержания панцирей живых диатомей, как и для диатомита, характерно постепенное повышение максимальной температуры продуктов горения, что также связано с недостатком пластификатора и появлением дефектов в матрице полимера за счет образующихся агломератов несмоченных частиц наполнителя и ПВХ. Это спо-

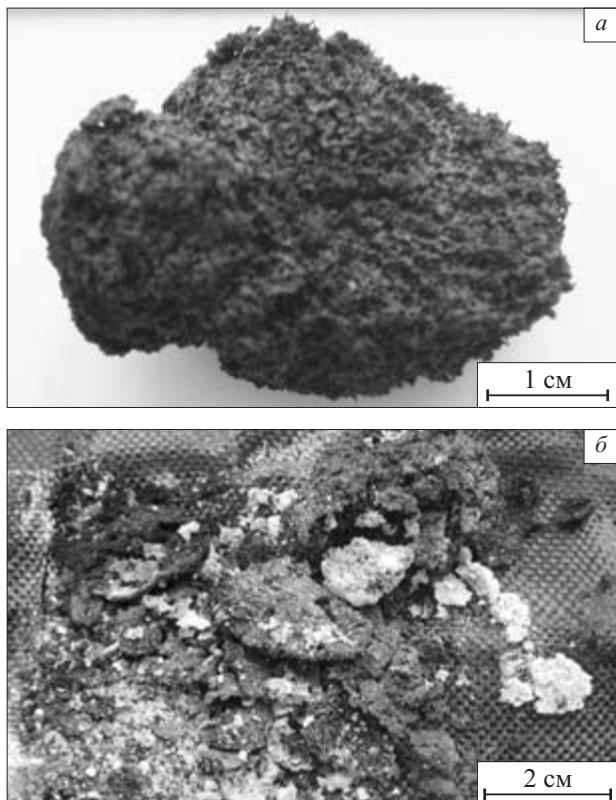


**Рис. 1.** Микрофотография диатомита (*а*) и природных диатомей рода *Stephanodiscus* (*б*); диаметр створок диатомей около 5 мкм

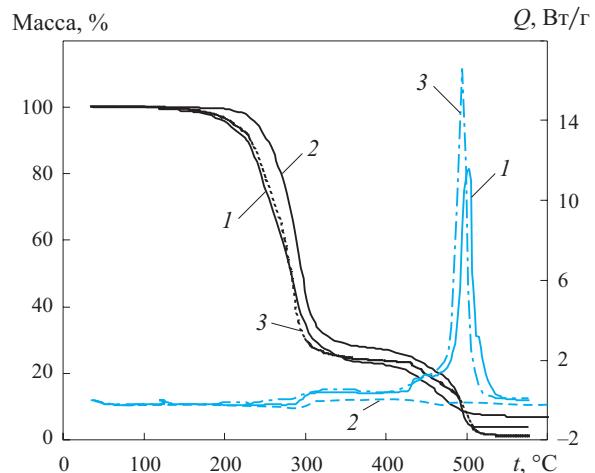
существует выгоранию органической составляющей материала и разрушению кокса (рис. 2).

Особенностью полученных материалов является сохранение в течение продолжительного времени максимальной температуры продуктов горения (в этот период горелка не выключалась), в результате чего наблюдаются высокие значения потери массы — до 90,8%. Можно предположить, что в данном случае существенно изменяется характер термоокислительной деструкции образца, он становится ближе к окислению в твердой фазе (тлению), чем к горению.

Рассмотрение данных термического анализа пластизоля ПВХ (рис. 3) показывает, что в области температур 200–300°C происходит резкое уменьшение массы образца до 28–35% как при нагревании на воздухе, так и в инертной среде. Подобная потеря массы соответствует удалению всего пластификатора (38,2%) и хлористого водорода в виде HCl в процессе термодеструкции ПВХ (34,3%). Температура воспламенения ДОФ составляет 249°C, поэтому горение в этой области связано с окислением пластификатора в газовой фазе. На кривой ДСК отсутствует явный экзотермический пик в этой области, что может быть обусловлено особын-



**Рис. 2.** Фотографии коксов пластизолов, содержащих 1,2 (*а*) и 1,8% (*б*) диатомей



**Рис. 3.** ТГ и ДСК анализ исходного пластизоля (*1, 2*) и содержащего 2,9% диатомита (*3*); образцы *1* и *3* исследовались в окислительной среде, *2* — в инертной

ностями эксперимента, а именно продувкой ячейки потоком воздуха. Пары ДОФ при этом уносятся из ячейки, и их возможные реакции не оказывают влияния на температуру образца. В качестве альтернативы можно предположить, что экзотермический эффект компенсируется эндотермической реакцией разложения ПВХ, но в таком случае на кривой раз-

**Таблица 2.** Относительный состав газовой смеси при термическом анализе пластизолей\*

Газ	Ненаполненный пластизоль		2,9% диатомита	
	масса	моли	масса	моли
145–420°C				
H <sub>2</sub> O	88,96	4,94	84,32	4,68
HCl	100,00	2,74	100,00	2,74
CO	41,02	1,46	28,87	1,03
CO <sub>2</sub>	13,55	0,31	11,89	0,27
H:C в продуктах окисления	–	5,58	–	7,20
CH <sub>4</sub>	8,45	0,47	6,12	0,34
Арены	4,72	–	5,16	–
420–550°C				
H <sub>2</sub> O	89,50	4,97	71,33	3,96
HCl	0	0	0	0
CO	49,70	1,77	54,65	1,95
CO <sub>2</sub>	269,03	6,11	241,96	5,50
H:C в продуктах окисления	–	1,26	–	1,06
CH <sub>4</sub>	5,71	0,32	5,00	0,28
Арены	1,07	–	0,18	–

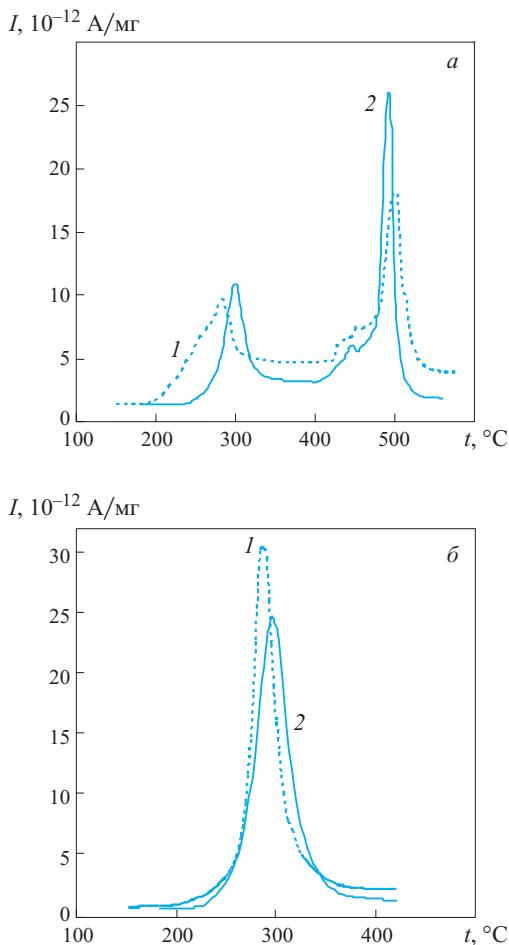
\* Массовое содержание газов нормировано на общее количество выделившегося HCl.

ложения в инертной среде должен был наблюдаться существенный эндотермичный пик.

После удаления пластификатора и HCl структура образца близка к поликацетилену, он стабилен до ~450°C, после чего начинается дальнейшее падение массы (см. рис. 3). Образующийся при этом продукт стабилен в инертной среде и представляет собой, очевидно, коксовый остаток. На воздухе он выгорает с большим экзотермическим эффектом при 500°C.

Введение 2,9% диатомита существенно не влияет на характер разложения пластизоля и состав выделяющихся газов. Как и в случае ненаполненного образца, потеря массы в низкотемпературной области (до 420°C) сопровождается выделением воды и монооксида углерода, а существенное количество CO<sub>2</sub> наблюдается лишь ближе к 500°C. Таким образом, в условиях относительно медленного нагрева (10°C/мин) даже в присутствии достаточного количества воздуха полноценное горение не начинается до 420°C.

Рассмотрение количественного состава газовой смеси, образующейся до 420°C (табл. 2), свиде-



**Рис. 4.** Выход CO (а) и HCl (б) для исходной композиции (1) и содержащей 2,9% диатомита (2)

тельствует о повышенном содержании водорода в продуктах окисления: отношение H:C превышает 5, в то время как аналогичная величина для диоктилфталата и поликацетилена составляет 1,58 и 1 соответственно. Данный факт также связан с неполным сгоранием в этом температурном интервале, приводящим к образованию сажи. Введение диатомита повышает отношение H:C, причем одновременно повышается с 23,2 до 26% остаточная масса образца при 420°C, что указывает на большую степень карбонизации этого образца. Разложение пластизолов выше 420°C сопровождается значительным экзотермическим эффектом (см. рис. 3), а состав газовой смеси приближается к продуктам сгорания поликацетилена.

Начало активного разложения наполненного образца (см. рис. 3) сдвигается на 40°C в сторону высоких температур, вероятно в связи с защитным действием наполнителя и образующегося в большем количестве кокса. У ненаполненной композиции уже при температуре около 140°C масс-спектрометром фиксируется выделение токсичных CO и HCl (рис. 4). При этом в интервале температур

140–350°C для материалов с 2,9% диатомита снижается концентрация хлороводорода и количество угарного газа в продуктах термоокислительной деструкции.

Таким образом, показано, что диатомит эффективно снижает горючесть и увеличивает термостабильность ПВХ материалов. При этом достигаются высокий выход продукта при незначительной массовой степени наполнения (2,5–3%) полимера, хорошие физико-механические и технологические

свойства по сравнению с высоконаполненными ПВХ материалами, содержащими вермикулит или флогопит. Введение диатомита существенно не влияет на характер разложения пластизоля ПВХ и состав выделяющихся газов, но начало разложения образцов смещается в сторону более высоких температур до 40°C.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Фонда РФФИ (проект № офи-06-04-08224) и Фонда содействия отечественной науке.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Braun D. // J. Polym. Sci. — Part A: Polym. Chem. — 2004. — Vol. 42. — P. 578.
2. Thornton J. Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride Building Materials. — Washington, 2002.
3. Баротов А. Н. и др. Пожарная опасность строительных материалов. — М.: Стройиздат, 1988.
4. Xanthos M. Functional Fillers for Plastics. — Wiley-VCH, 2005.
5. Егоров А. Н. Дисс. .... канд. хим. наук. — Иркутск: ИрГУ, 2004.
6. Антонов А. В., Решетников И. С., Халтуринский Н. А. // Успехи химии. — 1999. — Т. 68, № 7. — С. 663.

Поступила в редакцию 28.06.07.



Младший научный сотрудник  
ЗАО "Теплоогнезащита"  
(г. Сергиев Посад Московской обл.)  
**А. С. Мельников**



Д-р техн. наук, профессор,  
заместитель генерального директора  
ЗАО "Теплоогнезащита"  
(г. Сергиев Посад Московской обл.)  
**В. Л. Страхов**

УДК 614.841.411

## УТОЧНЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ВСПУЧИВАЮЩЕЙСЯ ОГНЕЗАЩИТЫ НА МИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Представлена математическая модель функционирования вспучивающейся огнезащиты на минеральной основе, свободная от упрощающих допущений, использованных при разработке ее предыдущего варианта. Удовлетворительное согласование результатов расчета с экспериментальными данными свидетельствует о достаточной достоверности и точности разработанной модели. Применение на практике уточненной математической модели позволяет получать экономию средств при проектировании и выполнении огнезащиты на объектах.

**В** книге [1], а также в вышедших позднее статьях В. Л. Страхова, А. Н. Гаращенко и В. П. Рудзинского [2–7 и др.] представлена разработанная ими ранее математическая модель функционирования водосодержащей огнезащиты на минеральной основе, отличающейся особо сложным поведением при огневом воздействии.

Модель построена с использованием следующих упрощающих допущений:

- 1) отсутствует перенос массы жидкой воды в слое пористой огнезащиты (при этом не используется дифференциальное уравнение переноса массы воды);
- 2) в зоне конденсации, расположенной внутри пористого подповерхностного слоя огнезащиты, пар находится в состоянии насыщения;
- 3) не учитывается накопление газообразных продуктов разложения (пара) в расширяющихся при вспучивании порах прогретого слоя огнезащиты (при этом не используется дифференциальное уравнение переноса массы пара и не рассчитывается нестационарное поле давления пара в порах подповерхностного слоя огнезащиты);
- 4) параметры кинетики термического разложения (дегидратации) огнезащитных материалов не зависят от скорости нагрева (при этом используется интегральная аппроксимация степени завершенности этого процесса, не учитывающая в явной форме его многостадийность);
- 5) процесс вспучивания протекает в квазистационарном режиме, его параметры не зависят от скорости нагрева и определяются непосредственно из эксперимента.

Проведенные авторами данной статьи теоретические и экспериментальные исследования позволили уточнить упомянутую выше математическую модель, отказавшись от использования перечисленных выше допущений.

Разработанная уточненная математическая модель тепломассопереноса в слое водосодержащей огнезащиты включает в себя следующие дифференциальные уравнения:

1. Дифференциальное уравнение сохранения энергии, учитывающее поглощение или выделение теплоты на различных стадиях процесса термического разложения (дегидратации) материала огнезащиты при конденсации и последующем испарении влаги, соответствующее изменение теплофизических характеристик материала, а также влияние на температурное поле переноса массы жидких и газообразных продуктов разложения:

$$(1 - \varphi) \rho' c'_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{\Sigma} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + c''_p \vec{m}'' \frac{\partial T}{\partial x} - c_w \vec{m}_w \frac{\partial T}{\partial x} - Q \dot{R} \pm r \dot{R}_c. \quad (1)$$

2. Дифференциальное уравнение переноса массы жидкой воды внутри пористого проницаемого материала огнезащиты:

$$\rho_0 \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho_0 D_w \frac{\partial w}{\partial x} \right) \pm \dot{R}_c. \quad (2)$$

3. Дифференциальное уравнение переноса массы газообразных продуктов термического разложения:

$$C_m \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_m \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_D \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \dot{R} \pm \dot{R}_c. \quad (3)$$

4. Систему обыкновенных дифференциальных уравнений для описания процесса термического разложения материала огнезащиты (вариант двухстадийного процесса):

$$\frac{d\mu_m}{dt} = -\mu_m^n k_1; \quad (4)$$

$$\frac{d\mu_n}{dt} = K_1 \mu_m^n k_1 - \mu_n^m k_2; \quad (5)$$

$$\frac{d\mu_k}{dt} = K_2 \mu_n^m k_2; \quad (6)$$

$$\frac{d\mu_e}{dt} = (1 - K_1) \mu_m^n k_1 + (1 - K_2) \mu_n^m k_2. \quad (7)$$

5. Обыкновенное дифференциальное уравнение для определения зависимости от времени относительной деформации вспучивания:

$$\frac{d\varepsilon_v}{dt} = \kappa \sigma_{ii} \frac{\partial \chi}{\partial t}. \quad (8)$$

Записанные дифференциальные уравнения решаются при следующих краевых условиях.

Для дифференциального уравнения сохранения энергии:

- начальное условие:

$$T|_{t=0} = T_0; \quad (9)$$

- граничное условие на обогреваемой поверхности огнезащиты:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_w-0} = \alpha_f (T_f - T_w) + A_f \sigma (T_f^4 - T_w^4); \quad (10)$$

- граничное условие на границах между слоями из различных материалов:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_b+0} = \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_b-0}; \quad (11)$$

- граничное условие на необогреваемой поверхности объекта огнезащиты:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_x-0} = \alpha_e (T_x - T_e) + A_e \sigma (T_x^4 - T_e^4). \quad (12)$$

Для дифференциального уравнения сохранения массы жидкой воды:

- начальное условие:

$$w|_{t=0} = w_0, \quad (13)$$

где  $w_0$  — массовая доля адсорбированной влаги в исходном материале;

- условие на обогреваемой поверхности:

$$\frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=x_w-0} = 0; \quad (14)$$

- условие на защищаемой поверхности:

$$\frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=x_b-0} = 0. \quad (15)$$

Для дифференциального уравнения сохранения массы пара:

- начальное условие:

$$p|_{t=0} = p_{eq} - p_0 = 0, \quad (16)$$

где  $p_{eq}$  — равновесное давление пара;

- граничное условие на обогреваемой поверхности огнезащиты:

$$p|_{x=x_w-0} = p_f; \quad (17)$$

- граничное условие на непроницаемой поверхности объекта огнезащиты:

$$\frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=x_b-0} = 0. \quad (18)$$

Начальные условия для обыкновенных дифференциальных уравнений системы (4)–(7):

$$\begin{aligned} \mu_m|_{t=0} &= 1; & \mu_n|_{t=0} &= 0; \\ \mu_k|_{t=0} &= 0; & \mu_e|_{t=0} &= 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Начальное условие для обыкновенного дифференциального уравнения (8):

$$\varepsilon_v|_{t=0} = 0. \quad (20)$$

В записанных выше уравнениях с краевыми условиями приняты следующие обозначения:  $\phi$  — пористость, объемная доля соответствующего компонента в смеси;  $\rho$  — плотность;  $\rho_0$  — начальная плотность;  $\mu_\alpha$  — массовая доля  $\alpha$ -компоненты в рассматриваемом элементарном объеме разлагающегося материала,  $\mu_\alpha = \rho_\alpha \Phi_\alpha / \rho_0$ ;  $\rho\phi$  — парциальная плотность компонента;  $c_p$  — теплоемкость;  $T$  — температура;  $t$  — время;  $x$  — поперечная координата;  $\lambda_\Sigma$  — эффективная (суммарная) теплопроводность материала, учитывающая лучистый перенос теплоты;  $\vec{m}$  — вектор массовой скорости;  $Q, R$  — суммарный тепловой эффект и объемная скорость газовыделения при пиролизе (дегидратации) соответственно;  $r, \dot{R}_c$  — тепловой эффект и объемная скорость поглощения массы при конденсации пара соответственно;  $w$  — массовое содержание воды;  $D_w$  — коэффициент диффузии жидкой воды;  $C_m$  — емкость материала по отношению к газам пиролиза.

за;  $p$  — давление;  $\lambda_m$  — коэффициент массопроводности пористого проницаемого материала (коэффициент молярного переноса пиролизного газа в пористой среде);  $K_D$  — коэффициент диффузии пара;  $k_1, k_2$  — константы скорости соответствующих стадий процесса пиролиза;  $K_1, K_2$  — предельные массовые доли конденсированного остатка на соответствующих стадиях процесса;  $n, m$  — порядок реакции;  $\varepsilon_v$  — объемная деформация вспучивания;  $\kappa$  — коэффициент вспучивания;  $\sigma_{ii}$  — нормальные напряжения, действующие в каркасе вспучивающегося покрытия;  $\chi$  — степень завершенности процесса пиролиза;  $n$  — нормаль к поверхности;  $\alpha$  — коэффициент конвективного теплообмена;  $A$  — приведенная степень черноты газовой среды и поверхности. Индексы: ' — каркас пористого материала; " — газ, заполняющий поры;  $m$  — исходный материал;  $n$  — промежуточный продукт пиролиза;  $\kappa$  — конечный продукт пиролиза;  $\varepsilon$  — газы пиролиза;  $w$  — вода, обогреваемая поверхность;  $x$  — необогреваемая поверхность;  $f$  — газовая среда пожара;  $b$  — граница между различными материалами;  $e$  — газовая среда, омывающая необогреваемую поверхность.

Необходимо отметить, что дифференциальные уравнения переноса массы жидкой воды и пара (2) и (3) аналогичны соответствующим уравнениям публикации [8], примененным в этой работе для слоя бетона. Вместе с тем, в отличие от упомянутой статьи, авторами учтено влияние массопереноса на температурное поле (второе и третье слагаемые в уравнении (1)). Кроме того, предлагаемая модель включает замыкающие соотношения к указанным уравнениям для теплофизических характеристик, которые, в частности, учитывают переменное по толщине слоя и во времени содержание воды в порах материала.

*Замыкающие соотношения* к записанным выше уравнениям с краевыми условиями. Для определения зависимости теплофизических характеристик материала от температуры и содержания жидкой воды, пористости, объемной мощности источников массы газов пиролиза используются соотношения работ [1–7].

Объемная скорость испарения — конденсации пара в пористом подповерхностном слое огнезащиты определяется из соотношения [8]:

$$\dot{R}_c = \varphi \gamma w (p_{eq} - p) / \rho_0 R_v T, \quad (21)$$

где  $R_v$  — газовая постоянная пары.

Равновесное давление пара рассчитывается по уравнению Frenkel-Halsey [8]:

$$\ln(p_{eq}/p_s) = -C_s/Tw^n, \quad (22)$$

где  $p_s$  — давление насыщения.

Емкость пористого тела по отношению к пиролизному газу определяется из соотношения:

$$C_m = \frac{\varphi M''}{RT}, \quad (23)$$

где  $M''$  — молекулярная масса пиролизного газа;  $R$  — универсальная газовая постоянная.

Коэффициент молярного переноса пиролизного газа в пористой среде вычисляется следующим образом:

$$\lambda_m = \varphi k/v, \quad (24)$$

где  $k$  — коэффициент газопроницаемости пористого подповерхностного слоя огнезащиты;

$v$  — кинематическая вязкость пиролизного газа (пара).

Константы скорости процесса пиролиза (дегидратации) определяются в соответствии с законом Аррениуса из соотношений:

$$\begin{aligned} k_1 &= A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right); \\ k_2 &= A_2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \end{aligned} \quad (25)$$

где  $A_1, A_2, E_1, E_2$  — предэкспоненты и энергии активации соответствующих стадий процесса.

Степень завершенности процесса пиролиза выражается через текущее значение массовой доли газов пиролиза с помощью соотношения вида:

$$\chi(t) = \frac{\mu_e(t)}{2 - K}, \quad (26)$$

где  $K$  — массовая доля конденсированного остатка,  $K = K_1 + K_2$ .

Для численного решения сформулированной системы дифференциальных уравнений в частных производных использован метод конечных разностей. Конечно-разностные аналоги дифференциальных уравнений построены по неявной четырехточечной схеме. Полученная в результате этого система алгебраических уравнений решена методом прогонки с использованием итераций на каждом временном слое. Необходимость организации итерационного процесса обусловлена существенной нелинейностью задачи (в частности, сильным влиянием температуры на переносные свойства пористого подповерхностного слоя огнезащиты).

Приведенная выше постановка краевой задачи тепломассопереноса в слое водосодержащей огнезащиты в частности позволила при разработке и численной реализации алгоритма расчета отказаться от введения линии растекания пара, а также границ раздела зон дегидратации, конденсации и насыщенного водой слоя [1–7]. При этом не потребовалось использовать довольно сложные логические процедуры определения мгновенного положения указанных подвижных фронтов, что существенно

упростило алгоритм расчета и улучшило сходимость численного решения задачи.

Результаты экспериментальных исследований комплекса теплофизических, термохимических и термомеханических характеристик огнезащитных материалов, необходимых для проведения численных расчетов с использованием разработанной математической модели, изложены в публикациях [1–7].

Значения переносных характеристик пористого подповерхностного слоя огнезащиты принимали по данным работы [8]. С использованием этих данных были проведены численные расчеты температурных полей в стальной пластине со слоем водосодержащего покрытия ТОЗ В-1 различной толщины применительно к условиям испытаний на установке конвективного нагрева. При расчетах определялось также перемещение обогреваемой поверхности огнезащиты вследствие вспучивания.

Расчеты проводились при следующих значениях характеристик материала (здесь использованы термины и обозначения работы [1]):

Начальная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200
Параметр контактного термического сопротивления $M_k$	0,5
Параметр лучистого теплопереноса в порах $\Theta$ , Вт/(м·К <sup>4</sup> )	$1,6 \cdot 10^{-10}$
Массовая доля нерастворимого наполнителя в материале	0,8

Состав, плотность и теплопроводность минеральной основы материала приведены в табл. 1 и 2. Для расчета температурной зависимости его теплопроводности использовалась формула вида:

$$c(T) = 1059 + 0,1687T - 0,265 \cdot 10^8 / T^2.$$

Значения параметров аппроксимации кинетики дегидратации материала, полученные методом термогравиметрии, представлены в табл. 3, а замеренный с помощью калориметра суммарный тепловой эффект этого процесса составляет  $2,467 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Переносные характеристики пористого слоя огнезащиты и параметры влаги и пара (см. форму-

**Таблица 1.** Состав и плотность минеральной основы материала напыляемого покрытия ТОЗ-В1

Компоненты	Содержание компонентов в составе материала		Плотность, кг/м <sup>3</sup>
	массовая доля	объемная доля	
CaO	0,04	0,034	3100
SiO <sub>2</sub>	0,47	0,588	2100
MgO	0,37	0,083	3300
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,295	3800
Материал минеральной основы			2629

лы (2), (3), (21) — (24)) имеют следующие значения (размерности даны в системе СИ):

- коэффициент диффузии жидкой воды  $D_w = 5,56 \cdot 10^{-10} \exp(19,2w)$ ;
- коэффициент диффузии пара  $K_D = 10^{-8}$ ;
- коэффициент газопроницаемости  $k = 5 \cdot 10^{-6}$ ;
- параметр объемной скорости конденсации жидкости  $\gamma = 3,6 \cdot 10^4$ ;
- газовая постоянная пара  $R_v = 463$ ;
- параметр равновесного давления пара  $C_s = 0,1892$ ;
- показатель степени в формуле (22)  $n = 2,01$ ;
- теплоемкость пара 2500 Дж/(кг·К);
- теплопроводность пара  $\lambda = -5,55 \cdot 10^{-3} + 0,0419 \cdot 10^{-3} T$ .

В расчетах использовались следующие параметры теплового режима и теплообмена при испытаниях образцов исследуемого материала:

a) на установке конвективного нагрева:

- температура газовой среды  $T_f = 1200 - 1180/(t/2 + 1)$ , где  $t$  — время, с;
- коэффициент конвективной теплоотдачи от газовой среды к поверхности огнезащиты  $\alpha_f = 29$ ;
- коэффициент конвективной теплоотдачи от необогреваемой поверхности  $\alpha_e = 20$ ;
- приведенная степень черноты газовой среды и обогреваемой поверхности  $A_f = 0,1$ ;
- приведенная степень черноты необогреваемой поверхности и ограждающих поверхностей  $A_e = 0,6$ ;

b) на установке лучистого нагрева:

- плотность падающего лучистого теплового потока 50000 Вт/м<sup>2</sup>;

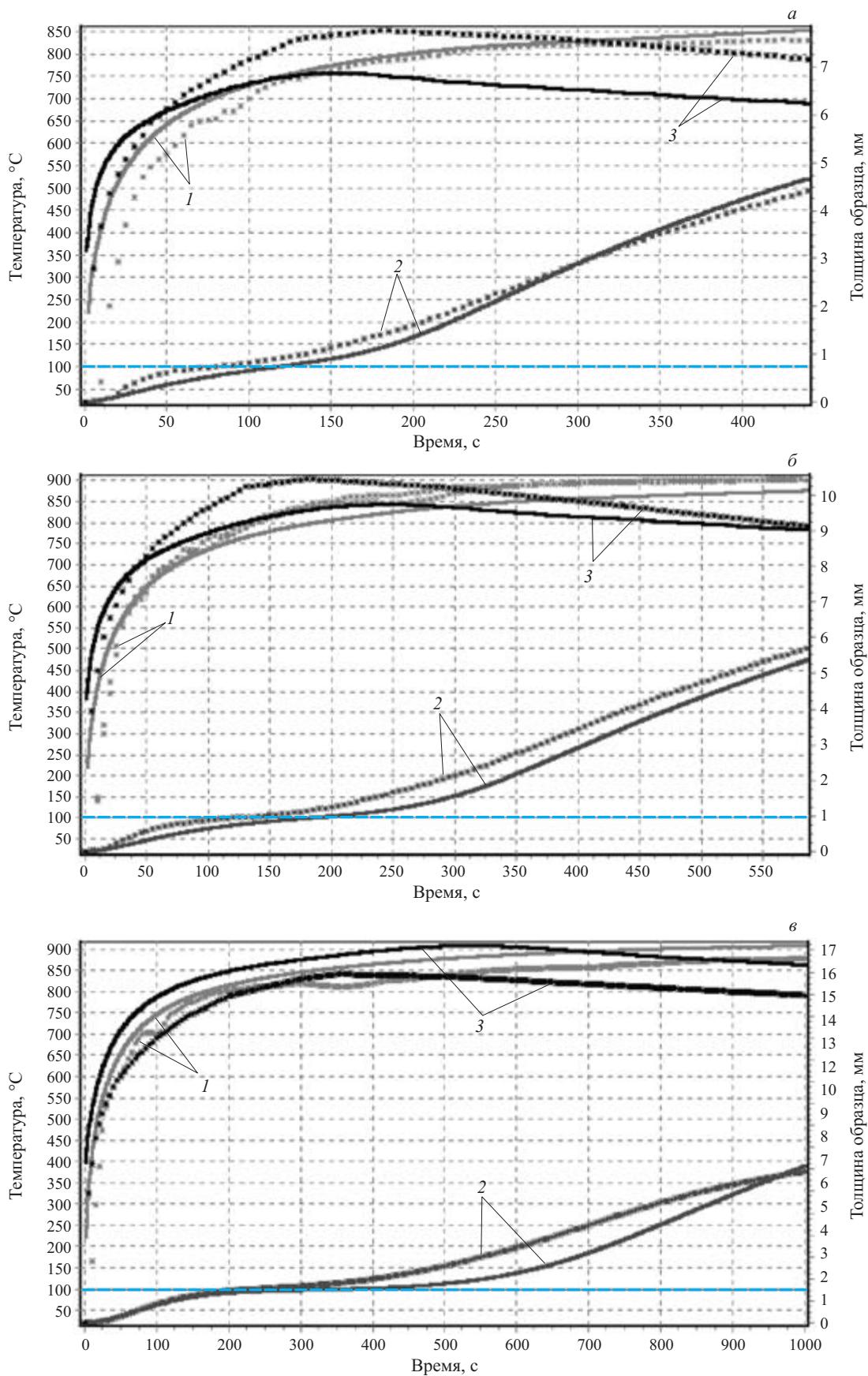
**Таблица 2.** Теплопроводность минеральной основы материала напыляемого покрытия ТОЗ-В1

Компоненты	Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре, °C				
	20	200	400	800	1200
CaO	13,86	11,37	9,13	6,27	5,59
SiO <sub>2</sub>	1,02	1,32	1,74	2,82	4,20
MgO	48,01	25,2	15,0	7,69	5,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,60	19,80	11,80	6,29	5,45
Материал минеральной основы	4,77	4,26	4,08	4,16	4,81

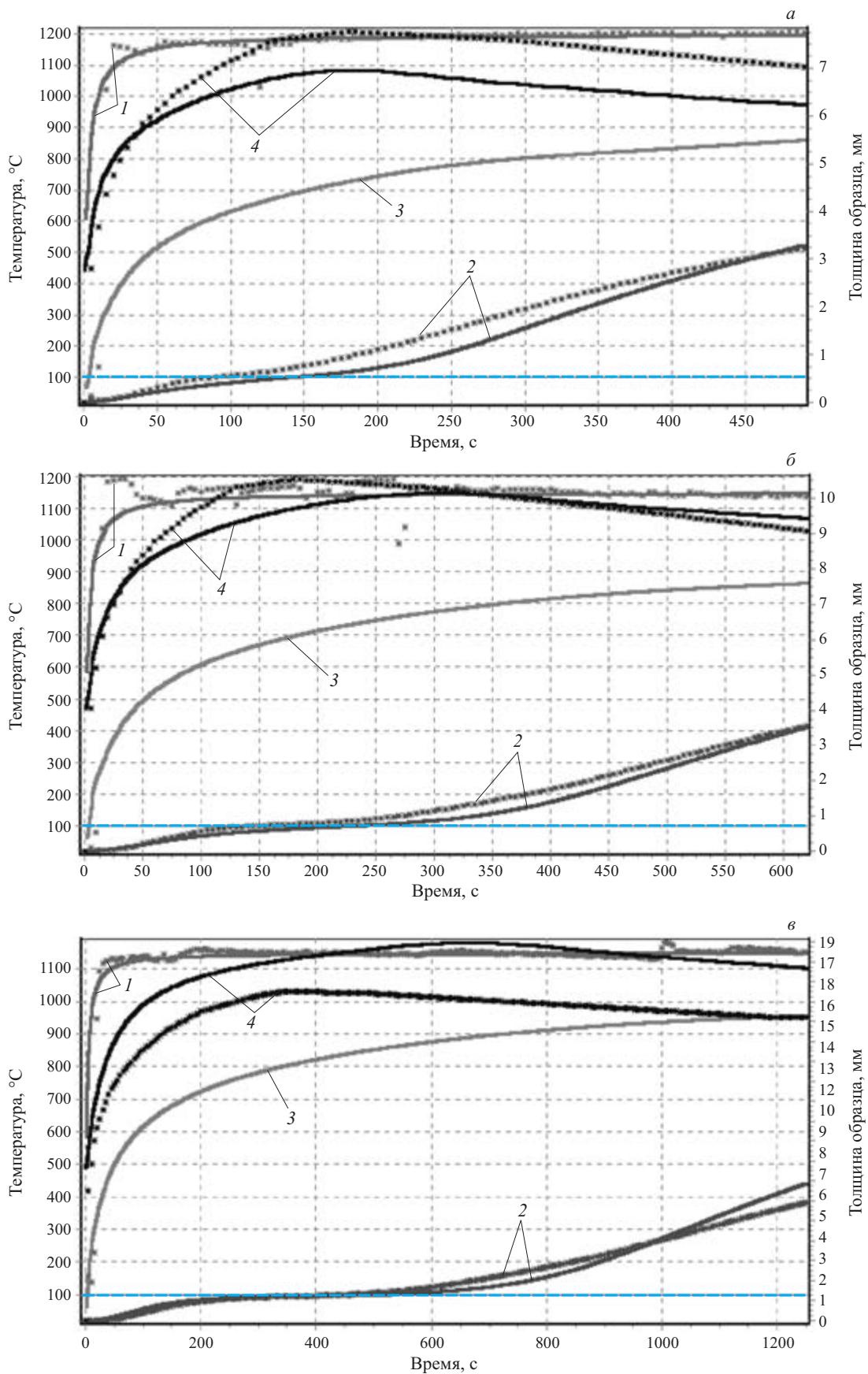
**Таблица 3.** Кинетические параметры процесса дегидратации материала ТОЗ-В1\*

$A_1, 1/\text{с}$	$A_2, 1/\text{с}$	$E_1, \text{Дж/моль}$	$E_2, \text{Дж/моль}$	$n$	$m$
$1,08 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	$49,3 \cdot 10^3$	$71,0 \cdot 10^3$	3	2,5

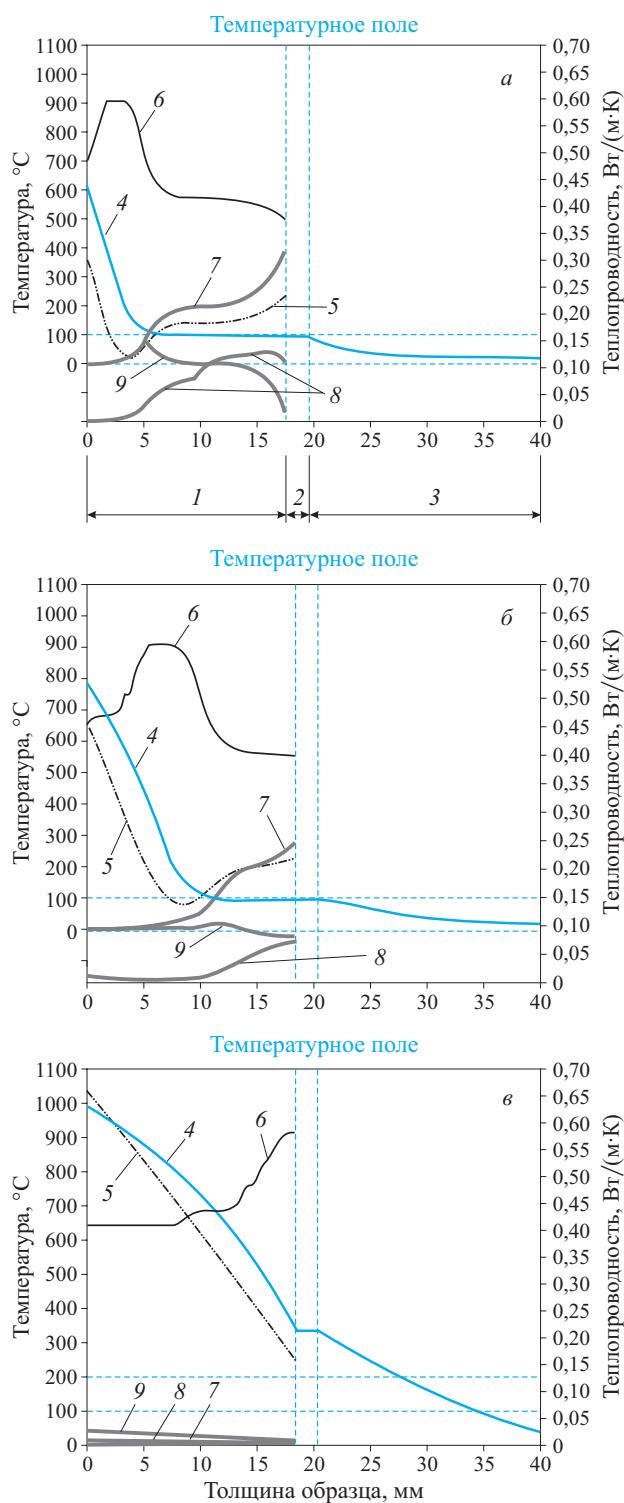
\* Размерности параметров даны в системе СИ.



**Рис. 1.** Зависимость от времени температуры обогреваемой поверхности (1) и стальной подложки (2), а также толщины образца (3) огнезащитного покрытия ТОЗ-В1 при исходном значении этой толщины: *a* — 2,3 мм; *б* — 3,3 мм; *в* — 5,9 мм; \*\*\*\* — эксперимент (на установке лучистого нагрева); — расчет



**Рис. 2.** Зависимость от времени температуры пламени (1), стальной подложки (2) и обогреваемой поверхности (3) огнезащитного покрытия ТОЗ-В1, а также толщины покрытия (4) при исходном значении этой толщины: *a* — 2,2 мм; *b* — 3,4 мм; *c* — 6,0 мм; \*\*\* — эксперимент (на установке конвективного нагрева); — расчет



**Рис. 3.** Распределение по толщине образца: температуры — кривая 4; теплопроводности разлагающегося при нагреве материала огнезащиты — кривая 5; деформации вспучивания — кривая 6; содержания воды в порах — кривая 7; массовой скорости движения пара — кривая 8; объемной скорости испарения — конденсации воды — кривая 9. Распределения даны для следующих моментов времени от начала нагрева: а — 1,5 мин; б — 4 мин; в — 15 мин (С целью упрощения рисунка шкалы для кривых 6—9 не приведены. Эти кривые характеризуют качественное поведение соответствующих параметров.)

- коэффициент конвективной теплоотдачи от обогреваемой поверхности к воздуху температурой 20°C  $\alpha_f = 10$ ;
- коэффициент конвективной теплоотдачи от необогреваемой поверхности 20;
- приведенная степень черноты необогреваемой поверхности и ограждающих поверхностей  $A_e = 0,6$ .

Типичные результаты расчетов, проведенных применительно к условиям испытаний образцов огнезащиты из исследуемого материала, нанесенных на стальные пластины толщиной 3 мм, представлены на рис. 1 и 2. Необходимо отметить, что испытания были осуществлены на двух установках, принципиально отличающихся условиями нагрева испытуемых образцов (лучистый и конвективный нагрев), а также для различных толщин испытуемых образцов огнезащиты.

Можно отметить, что несмотря на существенное различие параметров теплового воздействия на образец и большую разницу в исходных толщинах исследуемого покрытия, согласование расчетных и экспериментальных данных удовлетворительное.

На рис. 3 дано расчетное распределение по толщине испытуемого образца основных параметров, характеризующих сложное поведение рассматриваемой огнезащиты при огневом воздействии.

Можно видеть, как по мере прогрева слоя огнезащиты качественно изменяется картина распределения указанных параметров по его толщине. Зона конденсации пара (выделения воды) по мере прогрева смещается по направлению к непроницаемой поверхности стальной подложки и приблизительно на 15-й мин от начала огневого воздействия исчезает. Линия растекания пара, проходящая через точку пересечения кривой скорости его движения с нулевой линией, также смещается к необогреваемой поверхности. Зона вспучивания, находящаяся в пределах зоны дегидратации, смещается от обогреваемой поверхности к необогреваемой. Причем ввиду большой скорости прогрева в начальный период величина вспучивания покрытия у поверхности относительно невелика (образуется "корка").

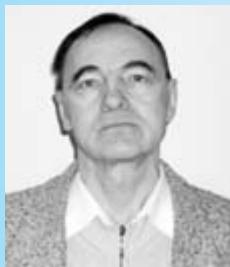
Таким образом, сопоставление результатов численных расчетов с экспериментальными данными показало их удовлетворительное согласование между собой, что свидетельствует о достаточной достоверности и точности разработанной математической модели. Модель позволяет учесть новые физические эффекты, возникающие при работе огнезащитного покрытия.

Применение на практике разработанной уточненной математической модели функционирования водосодержащей огнезащиты позволяет получить экономию средств при проектировании и выполнении огнезащиты на объектах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Страхов В. Л., Крутов А. М., Давыдкин Н. Ф. Огнезащита строительных конструкций / Под ред. Ю. А. Кошмарова. — М.: Информационно-издательский центр “ТИМР”, 2000 — 433 с.
2. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Математическое моделирование процесса работы теплоогнезащиты из водосодержащих материалов // Вопросы оборонной техники. — Сер. 15. — 1998. — Вып. 2(119). — С. 6–12.
3. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П., Кузнецов Г. В. Разработка, численная реализация и апробирование математических моделей работы теплоогнезащиты с учетом процессов термического разложения, испарения – конденсации и вспучивания – усадки // Вопросы оборонной техники. — Сер. 15. — 1999. — Вып. 1(122). — С. 17–21.
4. Озеров Н. А., Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Влияние влаги, содержащейся в теплоизоляции и клеевых составах, на огнезащитные свойства противопожарных судовых конструкций // Сборник Морского регистра судоходства. — 1999. — Вып. 23. — С. 234–239.
5. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Кузнецов Г. В., Рудзинский В. П. Высокотемпературный тепломассоперенос в слое влагосодержащего огнезащитного материала // Теплофизика высоких температур. — 2000. — Т. 38, № 6. — С. 958–962.
6. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Кузнецов Г. В., Рудзинский В. П. Процессы тепломассообмена в водосодержащих материалах при пожаре // Математическое моделирование. — 2000. — Т. 12, № 6. — С. 22–26.
7. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П., Олейник В. А. Математическое моделирование работы водосодержащих вспучивающихся огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 1. — С. 39–46.
8. Kazunori Harada, Toshio Terai. Numerical Simulation of Fire Resistance Test of a Concrete Slab // Fire Safety Science: Proceedings of Second International Symposium. — New York, Washington, Philadelphia, London, 1989. — Р. 707–717.

Поступила в редакцию 04.06.07.



Д-р хим. наук, профессор кафедры химии и процессов горения УрИ ГПС МЧС РФ

**С. А. Вшивков**



Канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры химии и процессов горения УрИ ГПС МЧС РФ

**С. Н. Пазникова**



Канд. хим. наук, профессор кафедры химии и процессов горения УрИ ГПС МЧС РФ

**Е. В. Русинова**



Канд. техн. наук, доцент кафедры химии и процессов горения УрИ ГПС МЧС РФ

**С. А. Евтюхов**

УДК 541.64:536.7

## ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ МЕТОДОМ РЕФРАКТОМЕТРИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВТОРЫХ ВИРИАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СИСТЕМЫ ПОЛИМЕР – АНТИПИРЕН

Показана возможность использования рефрактометрического метода для построения фазовых диаграмм систем полимер – антипирен в том случае, если показатели преломления компонентов близки и метод точек помутнения не может быть применен. Впервые определены с помощью метода рассеяния света вторые вириальные коэффициенты для системы полимер – антипирен.

По мере того, как возрастает значение пожаро-безопасности, все больше внимания уделяется пластическим материалам [1–5], которые широко используются в качестве конструкционных материалов, при отделке интерьеров жилых домов, предприятий, автомобилей. Многие виды пластических материалов являются органическими полимерами, содержащими значительные количества углерода и водорода. В своем естественном состоянии многие из них легко горят. Это является существенным фактором, сдерживающим внедрение разнообразных полимерных материалов в народное хозяйство. Пластмассы горят, когда они подвергаются достаточному нагреву, при котором полимерная структура разрушается с образованием летучих газов. При горении газов пламя излучает тепло, нагревающее пластмассу, что является причиной дальнейшего пиролиза и выделения воспламеняющихся газов. Введение антипиренов, снижающих пожарную опасность полимерных материалов, часто приводит к ухудшению их физико-химических и эксплуатационных свойств. В этой связи перед технологами стоит задача поиска и введения в полимер многофункциональных веществ, которые, понижая горючесть материала, не только не приводили бы к ухудшению его свойств, но и придавали материалу новые, требуемые в практике качества, например улучшение способности полимерного материала к переработке. К таким веществам относятся алкилгалоидфосфаты, которые явля-

ются как антипиренами, так и пластификаторами полимеров. При этом для получения композиционного материала антипирены должны хорошо совмещаться с полимерами. В противном случае будет наблюдаться выпотевание пластификатора-антипирена из полимерного материала. Сведения о термодинамической совместимости компонентов дают фазовые диаграммы и параметры термодинамического сродства, одним из которых является второй вириальный коэффициент  $A_2$ , который тем больше, чем лучше взаимодействие между компонентами [6].

Одним из наиболее эффективных методов оценки термодинамической совместимости пластификаторов и полимеров является непосредственная оценка их взаимной растворимости в широкой области температур, информацию о которой дают фазовые диаграммы, получаемые обычно методом точек помутнения (метод Алексеева). Однако этот метод не может быть использован, если показатели преломления компонентов близки [7]. Поэтому очень важно изыскание иных методов построения фазовых диаграмм пластифицированных систем.

В данной работе для этой цели был использован рефрактометрический метод, предложенный Рехаге [8]. Этим методом были изучены модельная система полистирол (ПС) – циклогексан (ЦГ), диаграмма состояния которой хорошо известна [7], и система ПММА – трис-(2-хлорэтил)fosфат (ТХЭФ),

показатели преломления компонентов  $n_D$  которой отличаются только на 0,011 [9]. Для этой же системы были определены вторые вириальные коэффициенты  $A_2$ , что вообще впервые сделано для системы полимер – антиприрен.

Были исследованы ПС ( $\bar{M}_W = 1,9 \cdot 10^5$ ) и ПММА ( $\bar{M}_W = 4,8 \cdot 10^4$ ). Антиприрен ТХЭФ — высококипящая жидкость с  $T_{kun} = 173^\circ\text{C}$  и плотностью  $\rho = 0,9220 \text{ г}/\text{см}^3$  [9] — был предоставлен Институтом химии и технологии полимеров им. В. А. Каргина. Растворы с массовой долей полимера  $\omega_2 < 0,25$  готовили в ампулах в течение нескольких суток при  $70^\circ\text{C}$  (ПС – ЦГ) и  $120^\circ\text{C}$  (ПММА – ТХЭФ). Концентрированные ( $\omega_2 > 0,25$ ) растворы ПММА готовили в виде пленок. Для этого на целлофановую подложку помещали заранее приготовленные толуольные растворы ПММА и ТХЭФ в определенных соотношениях. Полученные прозрачные смеси выдерживали при  $40$ – $50^\circ\text{C}$  в течение нескольких суток до полного испарения общего растворителя — толуола. Толщина полученных пленок составляла  $0,3$ – $0,5$  мм.

Для определения показателя преломления каплю раствора или пленку помещали между призмами рефрактометра ИРФ-22; температуру изменяли со скоростью  $5^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Точность терmostатирования растворов (пленок) составляла  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Вторые вириальные коэффициенты определяли методом светорассеяния. Для этого растворы ПММА в антиприрене и антиприрен обеспыливали фильтрованием под давлением  $\sim 2$  атм через тефлоновую ткань с размером пор 1–3 мкм. Светорассеяние растворов измеряли с помощью фотоэлектрического нефелометра. Источником света служил гелийнеоновый лазер ЛГ-75-1 с длиной волны 632,8 нм. Рассеянный раствором свет регистрировали фотоумножителем ФЭУ-28. Инкремент показателя преломления определяли с помощью интерференционного рефрактометра ИРФ-23.

#### Применение рефрактометрического метода для построения фазовых диаграмм

Метод состоит в определении температурной зависимости показателя преломления  $n_D$  растворов полимеров разных концентраций. Эти зависимости в гомогенной и гетерогенной областях различны [7], и на графике  $n_D = f(T)$  видны переломы, температуры которых отвечают температурам фазового разделения  $T_{\phi,p}$ . Однако подобные переломы на графиках  $n_D = f(T)$  наблюдали и при температурах стеклования  $T_c$  полимерных систем. Известно, что по температурной зависимости коэффициентов преломления определяют  $T_c$  полимеров. Поэтому  $T_{\phi,p}$  пластифицированных систем указанным методом можно определять только в том случае, если система находится при  $T > T_c$ .

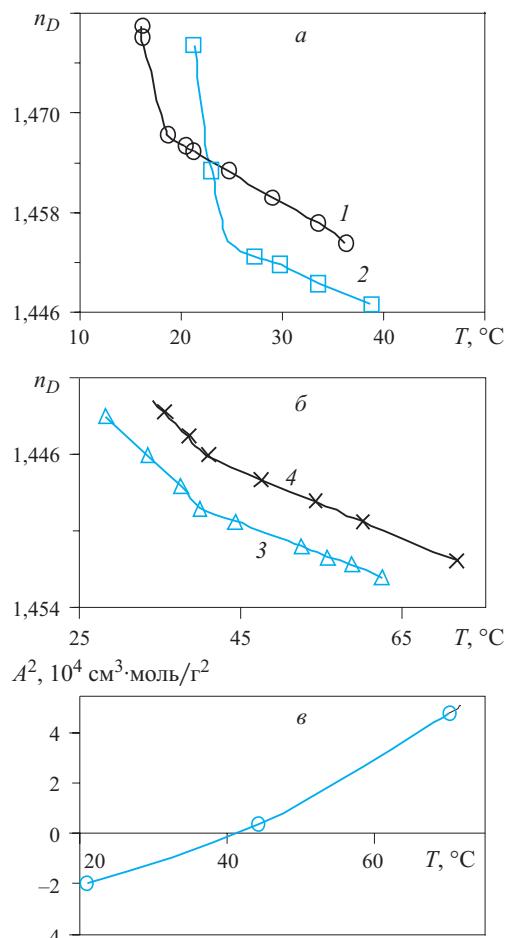


Рис. 1. Температурная зависимость показателя преломления  $n_D$  систем ПС – ЦГ (а), ПММА – ТХЭФ (б) для концентраций растворов 12,8 (1), 28,2 (2), 20 (3) и 37% (4) и второго вириального коэффициента  $A_2$  системы ПММА – ТХЭФ (в)

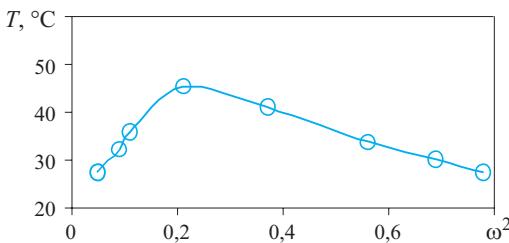


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы ПММА – ТХЭФ

Чтобы убедиться в том, что температуры точек переломов, наблюдающихся на кривых  $n_D = f(T)$ , действительно совпадают с  $T_{\phi,p}$ , авторами в качестве модельных систем были исследованы растворы ПС в ЦГ. Полученные данные сопоставлены с  $T_{\phi,p}$ , определенными методом точек помутнения.

На рис. 1, а представлена зависимость  $n_D = f(T)$  для растворов ПС двух концентраций.  $T_{\phi,p}$  этих растворов, определенная по точкам пересечения прямых с точностью до  $0,2^\circ\text{C}$ , совпадает с  $T_{\phi,p}$ ,

определенной по точкам помутнения. Следовательно, рефрактометрический метод позволяет получать достоверные значения  $T_{\phi,p}$ .

На рис. 1, б представлена зависимость  $n_D = f(T)$  для растворов ПММА в ТХЭФ, а на рис. 2 — фазовая диаграмма этой системы. Видно, что система ПММА — ТХЭФ обладает верхней критической температурой растворения, равной  $(45 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Растворы ПММА с концентрацией  $\omega_2 < 0,65$  находятся в исследованном диапазоне температур в высокоэластическом и вязкотекучем состояниях, а с концентрацией  $\omega_2 > 0,70$  — в стеклообразном. Выше бинодали система гомогенна, ниже бинодали образуются гели, что не сопровождается помутнением системы, поскольку показатели преломления компонентов близки.

Исследовали светорассеяние растворов ПММА под углом рассеяния  $\theta = 90^\circ$ , полученные данные обрабатывали по методу Дебая [10].

Для этого использовали уравнение

$$\frac{Kc}{R''_{90}} = \frac{1}{M} + 2A_2c,$$

где  $c$  — концентрация раствора;

$K$  — оптическая постоянная,

$$K = \frac{2\pi^2 n^2 (dn/dc)^2}{\lambda^4 N_A};$$

$n$  — показатель преломления растворителя;  
 $dn/dc$  — инкремент показателя преломления системы;

$\lambda$  — длина волны света;

$N_A$  — число Авогадро;

$M$  — молекулярная масса полимера;

$R''_{90}$  — избыточное рассеяние света, измеренное под углом рассеяния  $90^\circ$  и равное разности светорассеяния раствора и растворителя:  
 $R''_{90} = R_{90} - R'_{90}$ .

### Вторые вириальные коэффициенты системы ПММА — ТХЭФ

Температурная зависимость  $A_2$  приведена на рис. 1, в. Видно, что при понижении температуры значения  $A_2$  уменьшаются и при температуре ниже  $44^\circ\text{C}$  становятся отрицательными. Следовательно, при понижении температуры термодинамическое средство ПММА к ТХЭФ уменьшается, что приводит к фазовому разделению системы.

### ЛИТЕРАТУРА

- Полимерные материалы с пониженной горючестью / Под ред. А. Н. Праведникова. — М.: Химия, 1986. — 224 с.
- Полимерные материалы пониженной горючести // Тез. докладов V Международной конференции, Волгоград, 1–2 октября 2003 г.
- Берлин Ал. Ал. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. — 1996. — № 9. — С. 57.
- Кодолов В. И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. — М.: Химия, 1976. — 157 с.
- Вшивков С. А., Пазникова С. Н., Русинова Е. В. Фазовые диаграммы систем полиметилметакрилат — антипирены и термодинамическая совместимость компонентов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 29.
- Тагер А. А. Физико-химия полимеров. — М.: Химия, 1976. — 544 с.
- Вшивков С. А., Русинова Е. В. Фазовые переходы в полимерных системах, вызванные механическим полем. — Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2001. — 172 с.
- Rehage G. Quellung, Gelierung, Diffusion bei Kunststoffen // Kunststoffen. — 1963. — Vol. 53, № 9. — P. 603.
- Разинская И. Н., Агеева В. А., Ермилина Н. И., Рубцова И. К., Штаркман Б. П. Фосфорсодержащие пластификаторы-антипирены // Пластические массы. — 1977. — № 1. — С. 27.
- Эскин В. Е. Рассеяние света растворами полимеров. — М.: Наука, 1973. — 351 с.

Поступила в редакцию 06.06.07.



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



Д-р техн. наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Университет гражданской защиты  
Украины  
**А. Е. Басманов**

УДК 614.8

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЕПРОДУКТОМ ПОД ТЕПЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРА

Построена стохастическая модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под тепловым воздействием горящего соседнего резервуара. Особенностью модели является учет случайных пульсаций формы факела и температуры. Модель может быть использована для оценки вероятности достижения негорящим резервуаром температуры самовоспламенения и каскадного распространения пожара. Проведенное сравнение детерминированного и стохастического подходов выявило условия, при которых указанные модели дают близкие результаты и при которых их результаты существенно различаются.

**Постановка проблемы.** Прогнозирование времени достижения температуры самовоспламенения резервуаром с нефтепродуктом является необходимым этапом разработки плана локализации и ликвидации пожара в резервуарном парке. В настоящее время для этих целей используются модели детерминированного типа — в них предполагается постоянство формы факела и температуры пламени [1, 6]. Но даже простое наблюдение показывает, что факел меняется во времени случайным образом. Следовательно, случайными будут тепловой поток от него и температура нагревающегося резервуара.

В работе [1] построена детерминированная модель нагрева резервуара под тепловым воздействием пожара, предполагающая постоянные форму факела и температуру. На практике обычно приближенно полагают форму пламени конической, что является “средней” формой пламени, и не учитывают ее случайные изменения.

**Целью работы** является оценка вероятности достижения резервуаром с нефтепродуктом критической температуры при тепловом воздействии соседнего горящего резервуара путем построения математической модели стохастического типа, учитывающей случайные пульсации формы и температуры пламени.

**Математическая модель.** Следствием пульсаций формы пламени являются случайные изменения площади поперечного сечения факела  $\zeta(t)$  и площадей взаимного облучения  $\eta_k(t)$  между областями

резервуара и факелом. При построении модели будем предполагать, что:

$$\eta_k(t) = \xi(t)H_k^+; \quad \zeta(t) = \xi(t)S,$$

где  $\xi(t)$  — случайный процесс, стационарный в широком смысле [8],  $M\xi(t) = 1$ ;

$H_k^+$  — площадь взаимного облучения между факелом и областью  $k$  резервуара [1];

$S$  — площадь поперечного сечения факела в детерминированном случае.

Мы вводим в рассмотрение площадь поперечного сечения, поскольку именно эта характеристика может быть измерена экспериментально. Площадь поперечного сечения, наблюдаемая из некоторой точки, определяет телесный угол, занимаемый факелом, т.е. локальный коэффициент взаимного облучения. Это позволяет, определив характеристики случайного процесса  $\zeta(t)$  (закон и параметры распределения, корреляционную функцию), перейти затем к характеристикам случайных процессов  $\eta_k(t)$ .

Для оценки вероятностных характеристик пульсаций площади поперечного сечения факела  $\zeta(t)$  и его температуры  $\theta(t)$  была проведена серия экспериментов, в ходе которых осуществлялась видеосъемка горения мазута в модели резервуара диаметром 6 м. Для каждого кадра определялась площадь поперечного сечения, что позволило оценить дисперсию пульсаций  $\sigma_\xi$  и корреляционную функцию  $K_\xi(t)$  [3]. Связь между температурой абсолютной

черного тела и его цветом позволяет оценить дисперсию средней температуры факела и ее корреляционную функцию, также исходя из видеозаписи процесса горения [4].

Проведенные эксперименты [2–4] позволяют сделать вывод о совместном нормальном законе распределения стационарного процесса  $(\xi, \theta)$  с корреляционными функциями вида  $K_{\xi}(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\alpha_{\xi}|\tau|}$ ,  $K_{\theta}(\tau) = \sigma_{\theta}^2 e^{-\alpha_{\theta}|\tau|}$  и взаимной корреляционной функцией  $K_{\xi\theta}(\tau) = r \sigma_{\xi}\sigma_{\theta} e^{-\alpha_{\xi\theta}|\tau|}$ , где  $\sigma_{\xi}^2, \sigma_{\theta}^2$  — дисперсии случайных процессов  $\xi, \theta$ ;  $r$  — коэффициент корреляции между ними,  $r \sim 0,6\text{--}0,7$ . Диапазоны изменения параметров корреляционных функций приведены в таблице.

С учетом случайных изменений температуры факела и площади взаимного облучения уравнение теплового баланса [1] для области  $k$  поверхности резервуара принимает вид:

$$\begin{aligned} \frac{dT_k}{dt} = & \frac{\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[ \varepsilon_{\phi} \xi(t) H_k^+ \left( \left( \frac{\theta(t)}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \right. \\ & + \varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1+N_2} H_{ik}^+ \left( \left( \frac{T_i}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) + \\ & + \left( \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) (S_k - \xi(t) H_k^+) \Big] + \\ & + \frac{\alpha_e (T_e - T_k)}{\delta \rho_c c_c} + \frac{\alpha_e (T_0 - T_k)}{\delta \rho_c c_c}, \quad k = 1, 2, K, N_1. \quad (1) \end{aligned}$$

Теперь температуры  $T_k(t)$  будут случайными функциями. Определить аналитически закон их распределения невозможно ввиду их сложной зависимости от случайных процессов  $\xi(t)$  и  $\theta(t)$ . Для определения закона распределения  $T_k(t)$  была проведена серия численных экспериментов, в ходе которых генерировались реализации процессов  $\xi(t)$ ,  $\theta(t)$  и решалась система уравнений теплового баланса резервуара с нефтепродуктом. На основании экспериментальных данных была выдвинута и проверена гипотеза о нормальном законе распределения случайных функций  $T_k(t)$  [4].

Нормальность закона распределения для  $T_k(t)$  позволяет найти его параметры (математическое

#### Параметры корреляционных функций

Корреляционная функция	Среднеквадратическое отклонение, волях от среднего значения	$\alpha, \text{с}^{-1}$
Площадь поперечно-го сечения факела	0,1–0,3	0,1–0,5
Температура поверх-ности факела	0,03–0,06	0,3–3,0
Взаимная	—	0,1–1,0

ожидание  $\bar{T}_k(t)$  и дисперсию  $\sigma_k^2$ ) из уравнений баланса энергии. Применение оператора математического ожидания к левой и правой частям уравнения (1) позволяет перейти к дифференциальным уравнениям относительно математических ожиданий [4]:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{T}_k}{dt} = & \frac{\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[ \varepsilon_{\phi} H_k^+ \left( \left( \frac{\bar{T}_{\phi}}{100} \right)^4 - \left( \frac{\bar{T}_k}{100} \right)^4 \right) + \right. \\ & + \varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1+N_2} H_{ik}^+ \left( \left( \frac{\bar{T}_i}{100} \right)^4 - \left( \frac{\bar{T}_k}{100} \right)^4 \right) + \\ & + \left( \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 - \left( \frac{\bar{T}_k}{100} \right)^4 \right) (S_k - H_k^+) \Big] + \\ & + \frac{\alpha_e (\bar{T}_e - \bar{T}_k)}{\delta \rho_c c_c} + \frac{\alpha_e (T_0 - \bar{T}_k)}{\delta \rho_c c_c}, \quad k = 1, 2, K, N_1, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $\bar{T}_{\phi} = [\bar{T}_{\phi}^4 + 4r\bar{T}_{\phi}^3\sigma_{\xi}\sigma_{\theta} + 6\bar{T}_{\phi}^2\sigma_{\theta}^2 + 12r\bar{T}_{\phi}\sigma_{\xi}\sigma_{\theta}^3 + 3\sigma_{\theta}^4]^{1/4}$ .

Уравнение (1) также позволяет получить выражения для дисперсий  $\sigma_k^2(t)$  и корреляционных функций  $K_{\xi k}(t), K_{\theta k}(t)$  случайных процессов  $T_k(t)$  и  $\xi(t), T_k(t)$  и  $\theta(t)$  соответственно:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_k^2}{dt} = & \frac{2\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[ \varepsilon_{\phi} H_k^+ \left( \frac{A}{100^4} - \frac{\bar{T}_k^4 K_{\xi k} + 4\bar{T}_k^3 \sigma_k^2}{100^4} \right) + \right. \\ & + 4\varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1+N_2} H_{ik}^+ \left( \frac{\bar{T}_i^3 \sigma_i \sigma_k}{100^4} - \frac{\bar{T}_i^3 \sigma_k^2}{100^4} \right) - \\ & - H_k^+ \left( \frac{K_{\xi k} T_0^4}{100^4} - \frac{\bar{T}_k^4 K_{\xi k} + 4\bar{T}_k^3 \sigma_k^2}{100^4} \right) - \frac{4\bar{T}_k^3 \sigma_k^2}{100^4} S_k \Big] - \\ & - 2\sigma_k^2 \frac{\alpha_e + \alpha_{\theta}}{\delta \rho_c c_c}; \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dK_{\xi k}}{dt} = & \frac{\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[ \varepsilon_{\phi} H_k^+ \left( \frac{B_{\phi}}{100^4} - \frac{B_k}{100^4} \right) + \right. \\ & + 4\varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1+N_2} H_{ik}^+ \left( \frac{\bar{T}_i^3 K_{\xi i}}{100^4} - \frac{\bar{T}_i^3 K_{\xi k}}{100^4} \right) - \\ & - H_k^+ \left( \sigma_{\xi}^2 \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 - \frac{B_k}{100^4} \right) - \frac{4\bar{T}_k^3 K_{\xi k}}{100^4} S_k \Big] - \\ & - K_{\xi k} \frac{\alpha_e + \alpha_{\theta}}{\delta \rho_c c_c} - \alpha_{\xi} K_{\xi k}; \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dK_{\theta k}}{dt} = & \frac{\varepsilon_c c_0}{S_k \delta \rho_c c_c} \left[ \varepsilon_{\phi} H_k^+ \left( \frac{C_{\phi}}{100^4} - \frac{C_k}{100^4} \right) + \right. \\ & + 4\varepsilon_c \sum_{i=1}^{N_1+N_2} H_{ik}^+ \left( \frac{\bar{T}_i^3 K_{\theta i}}{100^4} - \frac{\bar{T}_i^3 K_{\theta k}}{100^4} \right) - \end{aligned}$$

$$-H_k^+ \left( K_{\xi\theta} \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 - \frac{C_k}{100^4} \right) - \frac{4\bar{T}_k^3 K_{\theta k}}{100^4} S_k \Big] - \\ - K_{\theta k} \frac{\alpha_\varepsilon + \alpha_\theta}{\delta\rho_c c_c} - \alpha_\theta K_{\theta k}, \quad k = 1, 2, \dots, N_1, \quad (5)$$

где  $B_\phi = \bar{T}_\phi^4 \sigma_\xi^2 + 4\bar{T}_\phi^3 K_{\xi\theta} + 6\bar{T}_\phi^2 (\sigma_\xi^2 \sigma_\theta^2 + 2K_{\xi\theta}^2) + 3\sigma_\theta^2 (4\bar{T}_\phi K_{\xi\theta} + \sigma_\xi^2 \sigma_\theta^2 + 4K_{\xi\theta}^2)$ ;

$$B_k = \bar{T}_k^4 \sigma_\xi^2 + 4\bar{T}_k^3 K_{\xi k} + 6\bar{T}_k^2 (\sigma_\xi^2 \sigma_k^2 + 2K_{\xi k}^2) + 3\sigma_k^2 (4\bar{T}_k K_{\xi k} + \sigma_\xi^2 \sigma_k^2 + 4K_{\xi k}^2);$$

$$C_\phi = \bar{T}_\phi^4 K_{\xi\theta} + 4\bar{T}_\phi^3 \sigma_\theta^2 + 18\bar{T}_\phi^2 K_{\xi\theta} \sigma_\theta^2 + 12\bar{T}_\phi \sigma_\theta^4 + 15K_{\xi\theta} \sigma_\theta^4;$$

$$C_k = \bar{T}_k^4 K_{\xi\theta} + 4\bar{T}_k^3 K_{\theta k} + 12\bar{T}_k^2 K_{\xi k} K_{\theta k} + 3\sigma_k^2 (\sigma_k^2 K_{\xi k} + 4K_{\xi k} K_{\theta k});$$

$$A = \bar{T}_\phi^4 K_{\xi k} + 4\bar{T}_\phi^3 K_{\theta k} + 6\bar{T}_\phi^2 (\sigma_\theta^2 K_{\xi k} + 2K_{\xi k} K_{\theta k}) + 12\bar{T}_\phi \sigma_\theta^2 K_{\theta k} + 3\sigma_\theta^2 (\sigma_\theta^2 K_{\xi k} + 4K_{\xi k} K_{\theta k}).$$

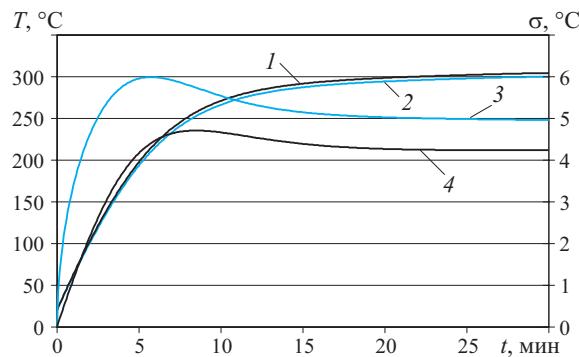
Совместное решение системы уравнений (1)–(5) позволяет найти математическое ожидание и дисперсию температуры резервуара с нефтепродуктом (рис. 1). Вместе с законом распределения температур это полностью определяет поведение резервуара в рамках стохастической модели. Скорость изменения температуры  $V_k(t) = dT_k/dt$  также распределена нормально, а параметры определяются уравнением (1) (рис. 2).

Коэффициент корреляции между температурой и скоростью ее изменения остается значимым только в первые минуты (см. рис. 2), затем он быстро уменьшается, температура и скорость ее изменения становятся некоррелированными случайными процессами. Ввиду их нормальности из некоррелированности следует независимость указанных величин.

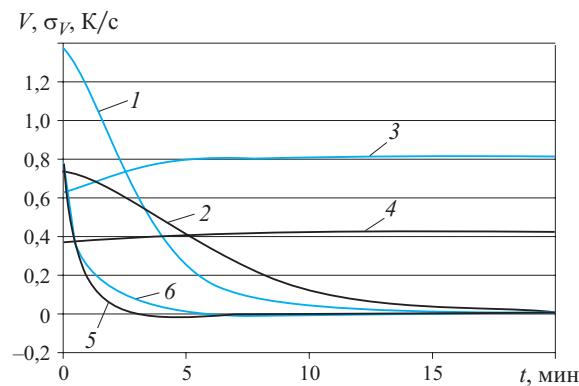
Знание закона и параметров распределения температуры и скорости ее изменения позволяет найти вероятность  $p_k(t)$  достижения областью  $k$  резервуара критической температуры  $T_{kp}$  на отрезке времени  $[0, t]$ . Разобъем этот отрезок системой точек  $t_1, t_2, \dots, t_f$  на равные отрезки с малым шагом  $\Delta t$ . Для того чтобы температура не достигла критического значения на отрезке  $[0, t]$ , необходимо, чтобы она не достигла его на каждом из частичных отрезков:

$$1 - p_k(t) = \prod_{i=1}^f \left( 1 - \frac{p_k(t, t + \Delta t)}{P(T_k(t) < T_{kp})} \right), \quad (6)$$

где  $p_k(t, t + \Delta t)$  — вероятность того, что область  $k$ , имея в момент времени  $t$  температуру ниже крити-



**Рис. 1.** Температура стенки резервуара РВС-10000, обращенной в сторону факела такого же горящего резервуара с нефтью, находящегося на расстоянии  $0,75D$ : 1 — математическое ожидание; 2 — детерминированное решение; 3 — среднеквадратическое отклонение (правая ось); 4 — различие между математическим ожиданием и детерминированным решениями (правая ось)



**Рис. 2.** Параметры скорости изменения температуры части резервуара, обращенной в сторону факела: 1, 2 — математическое ожидание  $\bar{V}$  для крыши и стенки соответственно; 3, 4 — среднеквадратическое отклонение  $\sigma_V$ ; 5, 6 — коэффициент корреляции между температурой и скоростью ее изменения

ческой, в момент времени  $t + \Delta t$  превысит ее. Значительность  $P(T_k(t) < T_{kp})$  означает вероятность того, что в момент времени  $t$  температура ниже критической, и определяется из условия нормального распределения температуры:

$$P(T_k < T_{kp}) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left( \frac{T_{kp} - \bar{T}_k}{\sigma_k \sqrt{2}} \right),$$

где  $\operatorname{erf}(z) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^x \exp(-t^2/2) dt$ .

Выполняя предельный переход  $\Delta t \rightarrow 0$  в выражении (6) и применяя теорию выбросов случайного процесса за предельный уровень на бесконечно малом отрезке [8], получим формулу [4]:

$$p_k(t) = 1 - \exp \left\{ -\frac{1}{\pi} \int_0^t \frac{\sigma_V \exp(-y^2)}{\sigma_T(1 + \operatorname{erf}(y))} \times \right. \\ \left. \times (z\sqrt{\pi}(1 + \operatorname{erf}(z)) + \exp(-z^2)) d\tau \right\}, \quad (7)$$

$$\text{где } y(t) = \frac{T_{kp} - \bar{T}}{\sigma_T \sqrt{2}}; z(t) = \frac{\bar{V}}{\sigma_V \sqrt{2}};$$

$\bar{T}(t)$ ,  $\sigma_T^2(t)$  — математическое ожидание и дисперсия температуры области  $k$  в момент времени  $t$ ;

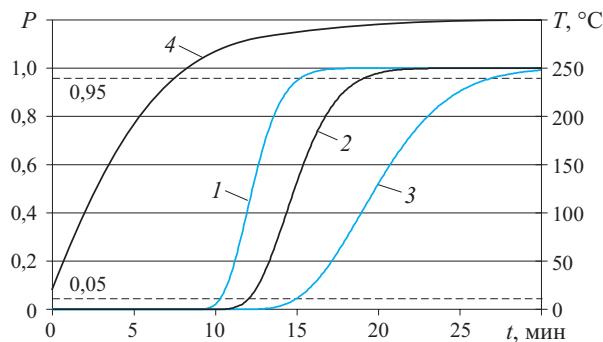
$\bar{V}(t)$ ,  $\sigma_V^2(t)$  — математическое ожидание и дисперсия скорости изменения температуры.

**Сравнение детерминированной и стохастической моделей.** Анализ пожарной ситуации в резервуарном парке можно проводить на основе детерминированной или стохастической модели. В первом случае речь идет о значениях температур в заданный момент времени, во втором — о законе и параметрах распределения температур. Второй подход является обобщением первого: он учитывает случайные факторы, влияющие на тепловой поток от факела. Случайность теплового потока приводит к тому, что наступление критического события (взрыв негорящего резервуара, возникновение факельного горения на дыхательных клапанах) происходит с некоторой вероятностью. В том частном случае, когда дисперсии пульсаций пламени равны нулю, зависимости температур от времени приобретают детерминированный характер. При этом вероятность наступления критического события к заданному моменту времени вырождается в 0 или 1, т.е. оно происходит или не происходит.

Таким образом, стохастическая модель является обобщением детерминированной. Недостатками же стохастической модели являются ее сложность и больший объем вычислений. Поэтому возникает вопрос, существенно ли различаются результаты, полученные с применением детерминированного и стохастического подходов.

Рассмотрим сначала следующий пример. Пусть горит резервуар РВС-10000 (диаметром 28,5 м и высотой 18 м), заполненный нефтью до уровня 17 м. На расстоянии 20 м от него находится другой такой же резервуар, заполненный нефтью до уровня 12 м. Температура самовоспламенения паров нефти лежит, главным образом, в интервале от 230 до 320°C [7]. На рис. 3 приведены зависимости от времени температуры стенки, обращенной к факелу (детерминированная модель), и вероятностей достижения некоторых температур (стохастическая модель).

Рассмотрим температуру  $T_{kp} = 280^\circ\text{C}$ . Вероятность того, что эта температура будет достигнута до



**Рис. 3.** Вероятность достижения критической температуры  $T_{kp}$  на отрезке времени  $[0, t]$ : 1 —  $T_{kp} = 280^\circ\text{C}$ ; 2 —  $T_{kp} = 290^\circ\text{C}$ ; 3 —  $T_{kp} = 300^\circ\text{C}$ ; 4 — детерминированное решение для температуры (правая ось)

момента времени  $t_{0,05} = 10,5$  мин, составляет 0,05. Вероятность достижения этой же температуры к моменту времени  $t_{0,95} = 15$  мин равна уже 0,95. Это означает, что с вероятностью 0,9 критическая температура будет достигнута на интервале времени  $(t_{0,05}; t_{0,95})$ . Из детерминированной модели следует, что температура 280°C будет достигнута через 12,5 мин. Из сравнения полученных результатов видно, что вероятность достижения критической температуры локализована на интервале длиной 4,5 мин, а детерминированное время лежит почти в его середине.

Чем короче будет интервал  $(t_{0,05}; t_{0,95})$  и чем ближе к нему будет находиться точка  $t$ , тем меньше будет отличие между моделями. Отметим, что при стохастическом подходе любая температура достижима, хотя, возможно, и с малой вероятностью. Другими словами,  $t_{0,05}$  и  $t_{0,95}$  всегда принимают конечные значения. При детерминированном подходе некоторые температуры оказываются вообще недостижимыми, т.е.  $t = \infty$ . Если в течение заданного промежутка времени  $\tau$  вероятность достижения некоторой температуры  $T$  не превосходит 0,05, т.е.  $t_{0,05} > \tau$ , то будем также называть эту температуру недостижимой. Определим относительное различие  $\delta$  между моделями следующим образом:

$$\delta = \frac{\max \{|t_{0,95} - t|, |t_{0,05} - t|\}}{t}, \quad (8)$$

где вместо любого из времен  $t$ ,  $t_{0,05}$ ,  $t_{0,95}$ , превышающих длину рассматриваемого промежутка времени  $\tau$ , подставляется само значение  $\tau$ . Найденное по уравнению (8) значение  $\delta$  будет зависеть от  $\tau$ . Значение  $\tau$  следует выбирать таким образом, чтобы за это время температуры нагревающихся частей резервуара успевали стабилизироваться. Расчеты, проведенные во втором и третьем разделах, показывают, что для этого можно ограничиться величиной

$\tau = 60$  мин. Этого же времени заведомо достаточно, чтобы начать охлаждение резервуаров.

Для рассматриваемого случая с критической температурой в 280°C обе модели дают эквивалентные результаты, а относительное различие между ними составляет

$$\delta = \frac{\max\{|t_{0,95} - t|, |t_{0,05} - t|\}}{t} = 0,2.$$

Иная ситуация с критической температурой в 300°C. Применение детерминированной модели дает время ее достижения  $t = 29$  мин. Стохастический подход показывает, что к моменту времени  $t_{0,05} = 15$  мин эта температура достигнута с вероятностью 0,05, а к моменту  $t_{0,95} = 26,5$  мин — с вероятностью 0,95. Сказанное означает, что с вероятностью 0,9 критическая температура будет достигнута на интервале времени от 15 до 26,5 мин после начала пожара. Теперь различие между моделями достигает

$$\delta = \frac{\max\{|t_{0,95} - t|, |t_{0,05} - t|\}}{t} \approx 0,48.$$

Кроме того, из рис. 3 видно, что через 19 мин после начала пожара вероятность достижения критической температуры составляет 0,5. С практической точки зрения это означает, что в половине случаев взрыв негорящего резервуара произойдет на 30% ранее, чем это предсказывает детерминированная модель. Учитывая масштабы возможного ущерба и опасность для человеческой жизни, с такой вероятностью нельзя не считаться. Таким образом, из последнего примера видно, что стохастическая модель более адекватно описывает развитие ситуации при пожаре в резервуарной группе.

Время, необходимое для достижения критической температуры (в детерминированной модели) и вероятностей ее достижения 0,5 и 0,95 (в стохастической модели), проиллюстрировано на рис. 4. Возникающее при этом относительное различие  $\delta$  отложено на правой оси.

Для температур, меньших 280°C (см. рис. 4), время, необходимое для их достижения в детерминированной модели, заключено между временами достижения этой же температуры с вероятностью 0,05 и 0,95:  $t_{0,05} < t < t_{0,95}$ . При этом ширина интервала не превосходит 5 мин:  $t_{0,95} - t_{0,05} < 5$ . После 285°C этот интервал начинает увеличиваться, а функция  $t(T_{kp})$  резко возрастать. Если до сих пор относительное различие между моделями составляло ~20%, то теперь оно начинает увеличиваться и с приближением критической температуры к максимально достижимой (~310°C согласно детерминированной модели) приобретает максимальное

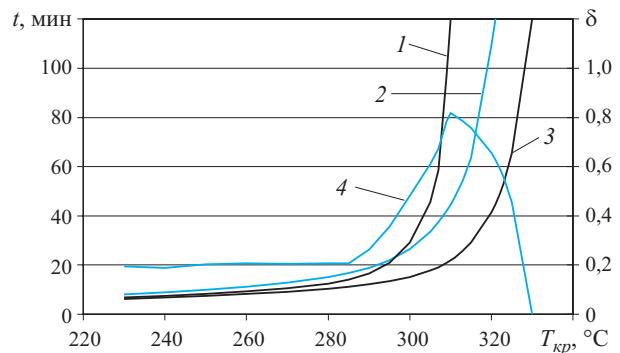


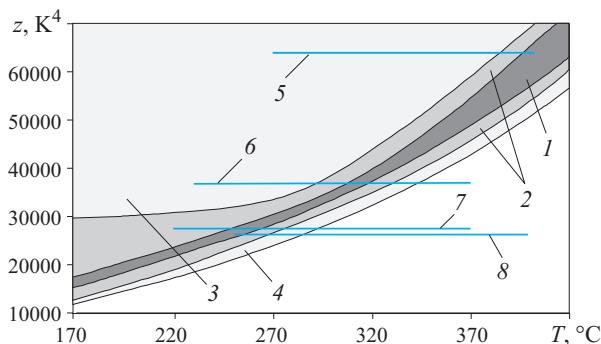
Рис. 4. Время достижения критической температуры: 1 — детерминированная модель; 2 — с вероятностью 0,95; 3 — с вероятностью 0,05; 4 — относительное различие  $\delta$  между моделями

значение. Причина такого поведения состоит в следующем. Математическое ожидание скорости изменения температуры стремится к нулю по мере приближения к максимально достижимой температуре, а дисперсия скорости почти не изменяется с течением времени (см. рис. 2). Поэтому с уменьшением модуля скорости изменения температуры все больше сказываются ее случайные пульсации, т.е. проявляется стохастическая природа процесса нагрева. Напротив, когда математическое ожидание скорости велико, влияние дисперсии несущественно и модель близка к детерминированной.

Изучим зависимость значимости различий между моделями от свойств нефтепродукта. Рассмотрим резервуарную группу с расстоянием между резервуарами  $0,75D$  (согласно СНиП) с произвольным нефтепродуктом, имеющим температуру пламени  $T_\phi$ , степень черноты  $\varepsilon_\phi$ , относительную высоту факела (отношение высоты факела к диаметру резервуара)  $k$ , температуру самовоспламенения  $T_e$ . Построим зависимость значимости различий между моделями от указанных четырех параметров:  $\delta(T_\phi, \varepsilon_\phi, k, T_e)$ , предполагая при этом отсутствие ветра. Из перечисленных параметров три первых определяют тепловой поток от факела:

$$q = c_0 \varepsilon_\phi \varepsilon_c \left[ \left( \frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right] \psi,$$

где  $\varepsilon_c = 0,8$  — степень черноты стенки резервуара;  
 $\varepsilon_\phi$  — степень черноты факела;  
 $T$  — температура облучаемой поверхности;  
 $\psi$  — площадь взаимного облучения, зависит от относительной высоты факела  $k = L/D$ ;  
 $L$  — длина факела;  
 $D$  — диаметр резервуара.



**Рис. 5.** Влияние свойств нефтепродукта (характеристики теплового потока  $z$  и температуры самовоспламенения  $T_c$ ) на различие  $\delta$  между стохастической и детерминированной моделями: 1 — область значений, в которой  $\delta > 0,4$ ; 2 —  $0,2 < \delta < 0,4$ ; 3 —  $0,1 < \delta < 0,2$ ; 4 —  $0 < \delta < 0,2$ ; диапазон температур самовоспламенения: 5 — бензина; 6 — нефти; 7 — дизельного топлива; 8 — мазута

С увеличением высоты взаимная площадь облучения растет. Введем параметр  $z$ , характеризующий излучение факела:

$$z = \varepsilon_\phi \left( \frac{T_\phi}{100} \right)^4 k.$$

Рис. 5 иллюстрирует влияние свойств нефтепродукта на относительное различие между детерминированной и стохастической моделями [4, 5]. В области 1 это различие превосходит 40%, в области 2 — 20%. В областях 3 и 4 это различие несущественно: от 10 до 20% и от 0 до 20% соответственно. Незаштрихованная область соответствует полному совпадению моделей ( $\delta = 0$ ).

С приближением к левому верхнему (малые критические температуры и большие тепловые потоки) и правому нижнему (большие критические температуры и малые тепловые потоки) углам различие между моделями уменьшается. При этом левый верхний угол соответствует ситуации, когда скорость изменения температуры нагревающегося резервуара велика по сравнению с ее случайными пульсациями, и поэтому обе модели дают почти одинаковый результат. Правый нижний угол, напротив, описывает ситуацию, в которой критическая температура оказывается недостижимой. Этим и объясняется совпадение результатов для обеих моделей в данной области.

Из рис. 5 видно, что наибольшее различие между детерминированной и стохастической моделями наблюдается для нефти, для большинства сортов  $\delta$  будет превосходить 20 и даже 40%. Для большинства бензинов различие лежит в пределах 10–20%, и только для бензинов с температурой самовоспламенения более 370°C начинаетказываться влияние

случайных пульсаций теплового потока:  $\delta > 20\%$ . Температура самовоспламенения большинства мазутов и дизельных топлив при данных условиях недостижима (незаштрихованная область на рис. 5), но для некоторых мазутов и дизельных топлив (с температурой самовоспламенения менее 270°C) эта температура достижима, различие между моделями достигает 40%.

При построении рис. 5 предполагалось, что расстояние между горящим и негорящим резервуарами составляет 0,75 диаметра. Изменение расстояния приводит к изменению теплового потока и, следовательно, величины  $z$ . Тепловой поток от факела убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до него. Поэтому для учета произвольного расстояния  $L$  между резервуарами достаточно определить характеристику теплового потока в виде:

$$z = \varepsilon_\phi \left( \frac{T_\phi}{100} \right)^4 \left( \frac{0,75}{d} \right)^2 k, \quad (9)$$

где  $d$  — относительное расстояние между резервуарами,  $d = L/D$ ;  
 $D$  — диаметр резервуара.

Таким образом, формула (9) позволяет определить характеристику теплового излучения  $z$  от факела горящего нефтепродукта, а затем по диаграмме (см. рис. 5) оценить различие между стохастической и детерминированной моделями и выяснить, существенно ли влияют случайные факторы на процесс нагрева. Это, в свою очередь, позволяет принять решение о необходимости применять стохастическую модель либо возможности ограничиться детерминированной моделью.

## Выходы

- Предложен и теоретически обоснован вероятностный подход к моделированию пожарных ситуаций в резервуарном парке нефтепродуктов. Подход основан на использовании теории случайных функций для описания тепловых процессов, происходящих в горящем и соседних с ним резервуарах. Исходными данными для модели являются случайные процессы, характеризующие факел, результатом — закон и параметры распределения случайных процессов, описывающих температуры резервуаров.

- Предложен метод оценивания вероятности достижения негорящим резервуаром температуры самовоспламенения паров нефтепродукта в течение заданного промежутка времени, основанный на расчете вероятности выброса случайного процесса за критический уровень. Разработанный метод позволяет прогнозировать каскадное распространение

пожара в резервуарном парке и принять решение о необходимости охлаждения данного резервуара.

3. Проведено теоретическое обобщение детерминированного и стохастического подходов к моделированию пожара в резервуарном парке. Стохастическая модель прогнозирования каскадного развития аварийной ситуации в резервуарном парке является обобщением детерминированной модели. Она позволяет более адекватно описать пожарную ситуацию за счет учета случайных факторов. Выяв-

лены условия, при которых обе модели дают эквивалентные результаты, а также при которых влияние случайных факторов существенно и пренебречь ими нельзя. Показано, что в ряде случаев наличие случайных факторов приводит к относительному различию между моделями более 50%. Метод сравнения стохастической и детерминированной моделей основывается на сопоставлении прогнозируемого времени достижения негорящим резервуаром температуры самовоспламенения нефтепродукта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник национального автомобильно-дорожного университета; Сб. науч. тр. — Харьков: ХНАДУ, 2005. — Вып. 29. — С. 131–133.
2. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Влияние случайных пульсаций пламени на нагрев резервуара при пожаре // Проблемы пожарной безопасности. — Харьков: Фолио, 2005. — Вып. 18. — С. 3–8.
3. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Оценка пульсаций пламени при горении нефтепродуктов // Радиоэлектроника и информатика. — Харьков: ХНУРЭ, 2006. — № 1(32). — С. 40–42.
4. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. — Харьков: АГЗУ, 2006 — 256 с.
5. Басманов А. Е. Сравнение стохастического и детерминированного подходов при моделировании пожарной ситуации в резервуарном парке // Вестник международного славянского университета. — Харьков: ТОВ ПКФ “Яна”, 2006. — Т. 9, № 1. — С. 14–17.
6. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. — М.: Недра, 1984. — 151 с.
7. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд., в 2-х кн. / Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. — М.: Химия, 1990. — 496 с.
8. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. — М.: Наука, 1968. — 463 с.

Поступила в редакцию 15.06.07.



Преподаватель кафедры  
профилактических дисциплин  
ГОУ ВПО ВСИ МВД РФ  
**О. М. Заятдинов**



Преподаватель кафедры  
профилактических дисциплин  
ГОУ ВПО ВСИ МВД РФ  
**Ю. Л. Чернов**

УДК 614.841.45:725

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ В РЕГИОНАХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Рассматриваются проблемы пожарной безопасности зданий, связанные с пожарной опасностью деревянных конструкций, содержащих пустоты, и снижением огнестойкости зданий с железобетонными конструкциями, эксплуатируемых в агрессивных средах. Предлагается новый способ герметизации деревянных пустотных конструкций и подход к оценке огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом воздействия агрессивных сред.

В соответствии со СНиП [1] пожарно-техническая классификация строительных материалов, конструкций, помещений, зданий, элементов и частей зданий основывается на их разделении по свойствам, способствующим возникновению опасных факторов пожара и его развитию — пожарной опасности, и по свойствам сопротивляемости воздействию пожара и распространению его опасных факторов — огнестойкости. В настоящее время в регионах Сибири и Дальнего Востока эксплуатируются здания, проектирование и строительство которых осуществлялось до середины XX века. Обследования строительных конструкций общественных, жилых и производственных зданий свидетельствует о том, что они имеют большой износ из-за длительных сроков эксплуатации, причем физический износ строительных конструкций наиболее интенсивно происходит в производственных зданиях и сооружениях со специфическими условиями среды [2]. Проблема обеспечения пожарной безопасности этих зданий применительно к регионам Сибири и Дальнего Востока ранее не рассматривалась [3, 4]. С целью обеспечения противопожарной защиты эксплуатируемых зданий и сооружений необходимо разработать новые подходы и технические решения. Для достижения указанной цели следует решить следующие задачи. Первая связана с необходимостью снижения пожарной опасности жилых и общественных зданий с деревянными пустотными конструкциями, способствующими скрытому развитию пожара. Вторая задача состоит в необходимости оценки снижения огнестойкости железобетонных конструкций с достаточным долгим

сроком эксплуатации (в том числе при воздействии химически активных эксплуатационных сред) и разработке на их основе рекомендаций о необходимости проведения реконструкции или восстановительного ремонта. Рассмотрим каждую из указанных задач в отдельности.

### Снижение пожарной опасности деревянных конструкций, содержащих пустоты

В зданиях старой постройки деревянные пустотные конструкции являются путями быстрого и скрытого распространения пожара. Как правило, при развившихся пожарах в подобных зданиях действия ГПС по тушению пожаров малоэффективны ввиду необходимости проведения одновременных работ по вскрытию пустотных конструкций и подачи внутрь огнетушащих веществ. В соответствии с документом [5] предлагается при реконструкции и капитальном ремонте жилых и общественных зданий, в которых имеются деревянные перекрытия с пустотами, способствующими быстрому и скрытому распространению огня, обратить особое внимание на разработку и осуществление дополнительных мероприятий по снижению пожарной опасности таких зданий (например, заполнение пустот в конструкции перекрытий и перегородок негорючими материалами; устройство в перекрытиях противопожарных поясов шириной не менее 1 м из негорючих материалов на всю ширину здания; защита деревянных конструкций перекрытий слоем штукатурки толщиной 2,5–3,0 см; при необходимости

полная замена деревянных перекрытий на железобетонные и пр.

Вышеперечисленные требования позволяют добиться необходимых результатов и связаны, в первую очередь, с реконструкцией и капитальным ремонтом зданий. Но возникает несколько вопросов, *первый* из них — изыскание средств на капитальный ремонт. Недостаток средств в регионах Сибири и Дальнего Востока на сегодняшний момент не позволяет проводить реставрацию памятников архитектуры федерального значения, не говоря уже о жилом фонде таких городов, как Иркутск, Улан-Удэ, Чита и др. *Второй* вопрос связан со зданиями, являющимися памятниками архитектуры, реставрация которых должна осуществляться без каких-либо изменений конструктивных особенностей. Поэтому основным критерием выбора способа огнезащиты в данном случае должна быть сохранность здания в первозданном виде. *Третий* вопрос относится к замене деревянных перекрытий на железобетонные. Данный способ вызывает увеличение нагрузки на несущие элементы здания и не всегда может быть применен. Усугубляют проблему дополнительные требования по сейсмостойкости к зданиям, эксплуатируемым в Иркутской области и Республике Бурятия. *Четвертый* вопрос связан с устройством противопожарных поясов и заполнением пустотных перегородок и перекрытий негорючими материалами. На первый взгляд достаточно простой подход, но и его реализация предусматривает проведение большого объема работ, которые могут быть выполнены только при ремонте или реконструкции здания. Опять возникает вопрос об изыскании средств. *Пятый* вопрос связан с выбором негорючего материала для заполнения пустот в конструкциях. Существует много материалов (перлит, вермикулит, минеральная вата и т.д.), которые могут быть выбраны в качестве заполнителей, но проведение огнезащиты будет связано с выполнением большого объема работ по вскрытию конструкций и заполнению пустот. И, наконец, защита деревянных конструкций слоем штукатурки не решает проблему скрытого распространения горения по пустотам как таковую.

Для того чтобы решить задачу обеспечения пожарной безопасности эксплуатируемых зданий с деревянными пустотными конструкциями необходимо разработать огнезащитные составы, отвечающие следующим требованиям. Первое, технологичность — способность вводить материал во внутренние полости конструкций без изменения конструктивных особенностей зданий. Второе, огнезащитные составы должны обладать небольшой объемной массой. И третье требование — сравнительно невысокая стоимость самого материала и работ

по огнезащите. Из вышеизложенного следует, что выбор материала и его технологичность наряду с ценой должны быть определяющими.

В последнее время ООО “Научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности” (г. Санкт-Петербург) и НПО “Ассоциация Крилак” (г. Москва) разработали огнезащитные материалы для пустотных конструкций. Огнезащитная пена “Термостоп” (ТУ 2332-012-47935838-2000) представляет собой пористый негорючий материал серого цвета объемной массой 320–750 кг/м<sup>3</sup> и предназначена для заполнения пустот в строительных конструкциях различной конфигурации с целью предотвращения скрытого распространения по ним огня. Пена является двухкомпонентной системой. Компоненты А и Б смешиваются друг с другом непосредственно перед производством работ в соотношении 1:3. Готовый состав используется в течение 20–25 мин. После нанесения пена увеличивается в 2,5–3,0 раза.

Огнезащитный материал “Файрекс-500” (ТУ 5767-017-40366225-99) — двухкомпонентный вспенивающийся материал на неорганической основе. Образует легкую пенистую структуру, которая герметизирует пустоты, препятствуя скрытому распространению огня. Объемная масса “Файрекс-500” — 350 кг/м<sup>3</sup>. Материал получается смешиванием одной массовой части пасты и одной массовой части добавки, затем методом залива механизировано или вручную вводится в пустотную конструкцию. Данный материал применяется при температуре воздуха не менее +10°C. Используемые технологии не раскрываются, а выполнение работ в регионах Сибири и Дальнего Востока с привлечением сторонних специалистов приведет к неоправданному увеличению стоимости огнезащиты [6].

С целью устранения указанных недостатков разработана технология заполнения пустот на основе материалов, обращающихся в производственной сфере Иркутской области [7]. Огнезащитная пена состоит из сухой части (20–55%) и жидкого связующего (45–80%), которые смешиваются непосредственно перед использованием. Образование пены происходит за счет выделения газовой фазы в результате химических процессов. Благодаря расширению пена способна герметизировать щели, пустоты, а также изолировать аварию и пожар в труднодоступных местах (завалы, кабельные тоннели, шахты, строительные пустоты и т.п.). Проведенные огневые испытания показали высокую эффективность разработанного способа по предотвращению скрытого развития пожара в деревянных пустотных конструкциях.

Предлагаемая технология огнезащиты включает в себя приготовление смеси путем смешения

двух компонентов в течение 3–25 мин, заливку в строительную конструкцию через заранее подготовленные шурпы, где происходит вспучивание, формирование и отверждение пены. Объемная масса получаемого материала — от 75 кг/м<sup>3</sup>. При использовании огнезащитной пены необходимо исключать попадание атмосферных осадков. Так как в процессе формирования пены происходит увеличение первоначального объема в 2–20 раз (регулируется соотношением компонентов), при заполнении необходимо учитывать эти особенности во избежание перерасхода материалов и увеличения стоимости огнезащиты. Приготовление огнезащитной пены рекомендуется производить при температуре воздуха более +8°C. Отверждение зависит от температуры окружающего воздуха и составляет от 5 мин до 8 ч. Предусмотрено введение различных добавок для оптимизации исходного материала. Использование отходов ЗАО “Кремний” (г. Шелехов) и БРАЗа (г. Братск) позволяет снизить себестоимость работ по герметизации строительных пустот в 3–5 раз. Разработанная технология основана на использовании материалов и оборудования, имеющихся в Иркутской области.

#### Оценка снижения огнестойкости железобетонных конструкций с учетом воздействия агрессивных сред

Вопросы, связанные с расчетом несущих железобетонных конструкций, находящихся под совместным воздействием химически активных эксплуатационных сред и высоких температур, до недавнего времени специально не рассматривались. Между тем, такое воздействие может оказаться решающим фактором для оценки безопасности при проектировании и эксплуатации зданий. Лишь в последнее время получили применение методы оценки огнестойкости эксплуатируемых, реконструируемых, перепрофилируемых зданий и сооружений, в соответствии с которыми несущая способность конструкции представляется функцией времени эксплуатации [3, 8].

В соответствии с публикациями [3, 8] коэффициент утраты огнестойкости эксплуатируемой конструкции  $C_{f,r}$  может определяться из соотношения:

$$C_{f,r} = \tau_{f,r}^{\text{экспл}} / \tau_{f,r}^{\text{np}}, \quad (1)$$

где  $\tau_{f,r}^{\text{экспл}}$  — эксплуатационный предел огнестойкости конструкции в зависимости от ее технического состояния в процессе эксплуатации;  $\tau_{f,r}^{\text{np}}$  — проектный предел огнестойкости конструкции, полученный на основе стандартных огневых испытаний до начала эксплуатации.

Известные методики позволяют рассчитывать фактические пределы огнестойкости для “новых” строительных конструкций без учета условий и сроков их эксплуатации. При расчете огнестойкости железобетонных конструкций основное значение имеют прочностные характеристики бетона и арматуры. Получив значения коэффициентов снижения прочности бетона, подвергнутого воздействию агрессивных сред и температуры, можно рассчитывать фактические пределы огнестойкости железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред.

На промышленных предприятиях, где для работы технологического оборудования используются различные смазочные материалы, происходит промасливание бетона несущих и ограждающих конструкций. Минеральные масла и эмульсии на их основе, несмотря на большую вязкость, имеют весьма незначительное поверхностное натяжение и большую силу смачивания, способны легко проникать в бетон несущих и ограждающих конструкций, при длительном воздействии масла на бетон способны даже пропитать его насквозь. Однако минеральные масла не оказывают химического воздействия на составляющие бетон материалы, и видимых признаков разрушения не проявляется. Петрографические, рентгеноструктурные, электронно-микроскопические исследования бетона, длительное время выдержанного в масле, наличие новообразований не показали. Поверхностно-активные вещества, содержащиеся почти во всех минеральных маслах, попадая в микродефекты бетона, вызывают адсорбционное понижение его прочности и, кроме того, оказывают расклинивающее воздействие, что в свою очередь также снижает и прочность бетона.

Условно коррозийные процессы, протекающие в бетонах, можно разделить на две большие группы: химическую коррозию (коррозия выщелачивания, кислотная, углекислотная, сульфоалюминатная) и физическую (воздействие многократно повторяющихся процессов увлажнения и высыхания, а также замерзания и оттаивания, действие различных веществ, отлагающихся в порах и капиллярах цементного камня и бетона). На практике один вид коррозии может налагаться на другой или сопутствовать ему, что ускоряет разрушение конструкции.

Для исследования поведения тяжелого бетона, пропитанного техническими маслами в условиях высоких температур, были изготовлены кубы из бетонов двух классов В15 и В25 размерами 10×10×10 см. Образцы бетона класса В25 были разделены на три части: две помещены соответственно в масла М-8Б и трансформаторное на 180 суток, а одна часть осталась для контроля. Образцы бетона класса В15 были разделены на две части: одна помещена в масло М-8Б на 110 суток, вторая — контрольная. После

**Таблица 1.** Зависимость коэффициента изменения прочности тяжелого бетона, подвергнутого воздействию технических масел, от температуры

Класс бетона	Значения $\gamma_{acp}$ при температуре нагревания, °C								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
B25	1	0,95	0,9	0,74	0,67	0,6	0,43	0,26	0,15
B15	1	1,02	1,05	1,12	0,94	0,84	0,69	0,54	0,44

**Таблица 2.** Зависимость коэффициента изменения прочности бетона, подвергнутого воздействию агрессивных сред, от температуры

Вид агрессивной среды	Значения $\gamma_{acp}$ при температуре нагревания, °C								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
Соевое масло	0,88	0,75	0,70	0,69	0,67	0,65	0,55	0,38	—
Продукты производства вискозы	0,98	0,97	0,95	0,89	0,74	0,63	0,57	0,29	0,17
Циклы замораживания – оттаивания	0,94	0,95	0,96	0,93	0,8	0,76	0,35	0,29	0,27

пропитки маслом образцы подвергались термообработке от 100 до 800°C с интервалом 100°C в электропечи сопротивления камерной лабораторной СНОЛ-1,6.2,5.1/II-II2, затем определялась прочность на сжатие с использованием пресса МС-1000. Для каждого значения температуры проводилась серия испытаний, состоящая из трех образцов.

Исследования бетона, пропитанного техническими маслами М-8Б и трансформаторным, показали, что прочность бетона снижается практически одинаково. Это говорит о том, что марка масла существенно не влияет на изменение прочности. Так, при температуре 200°C прочность образцов, пропитанных маслом М-8Б, составляет 89% по сравнению с контрольными образцами, а пропитанных трансформаторным маслом — 91%. При 500°C прочность составляет 56% с маслом М-8Б и 60% с трансформаторным маслом; при 700°C прочность образцов, пропитанных маслом М-8Б, равна 27%, а образцов, пропитанных трансформаторным маслом, — 25%. Полученные данные позволяют с погрешностью, не превышающей 5%, обобщить экспериментальные данные.

На основании проведенных исследований определены коэффициенты изменения прочности тяжелого бетона, подвергнутого воздействию технических масел, в зависимости от температуры (табл. 1).

На основании данных, представленных в работе [2], получены значения коэффициента изменения прочности бетонов, подвергнутых воздействию ряда других агрессивных сред (табл. 2).

Были выполнены расчеты проектного и эксплуатационного пределов огнестойкости железобетонной колонны со случайным эксцентрикситетом сечением  $h \times b = 0,3 \times 0,3$  м; тяжелый бетон В30 на известняковом заполнителе; влажность  $w = 3\%$ ;

плотность  $\rho = 2300$  кг/м<sup>3</sup>; толщина защитного слоя арматуры  $a_l = 20$  мм (4Ш20); арматура класса А-III; длина колонны  $l = 4,2$  м; нормативная нагрузка, действующая на конструкцию,  $N_h = 0,7N_{max}$ . Глубина проникновения агрессивной среды (технического масла) принята равной 4 см. Произведенные расчеты продемонстрировали, что проектный предел огнестойкости составил 1,1 ч (66 мин), а эксплуатационный — 0,8 ч (48 мин). Отличие составляет около 27%, что подтверждает необходимость учета условий эксплуатации при оценке огнестойкости эксплуатируемых зданий. Коэффициент утраты огнестойкости при этом составил 0,72.

Результаты исследований позволяют определять фактические пределы огнестойкости железобетонных конструкций эксплуатируемых и реконструируемых производственных зданий. Также при расчете необходимо учитывать дефекты железобетонных конструкций, возникшие в процессе эксплуатации (сколы, отслоение и уменьшение защитного слоя, трещины, коррозия арматуры) [8].

## Выходы

Для обеспечения пожарной безопасности эксплуатируемых длительное время зданий и сооружений предлагается:

1. Снижение пожарной опасности пустотных деревянных конструкций осуществлять способом герметизации на основе материалов, обращающихся в производственной сфере Иркутской области.

2. Оценку снижения огнестойкости железобетонных конструкций с учетом сроков их эксплуатации производить на основании полученных коэффициентов изменения прочности бетона и разрабатывать на их основе мероприятия по восстановлению несущей способности.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. — М.: Госстрой России, 1997. — 14 с.
2. Шелегов В. Г., Чернов Ю. Л., Кузнецов Н. А., Олейник М. В. Рекомендации по оценке огнестойкости железобетонных конструкций с учетом сроков их эксплуатации: Учебно-методическое пособие. — Иркутск: ВСИ МВД РФ, 2005. — 63 с.
3. Забегаев А. В., Ройтман В. М., Алексеев Ю. В., Шахаб Б. Х., Комарова И. М. Оценка огнестойкости реконструируемых зданий // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8, № 4. — С. 43–48.
4. Душкина Л. И., Еремина Т. Ю. Некоторые проблемы пожарной безопасности объектов памятников истории и культуры в Санкт-Петербурге // Пожаровзрывобезопасность. — 2000. — Т. 9, № 4. — С. 32–35.
5. Письмо Госстроя России от 09.10.00 № СК-4434/9 и Главного управления Государственной противопожарной службы МВД России от 28.09.00 № 20/2.2/3438 “О повышении противопожарной защиты жилых зданий”.
6. Пат. № 2198149, МПК 7 C04B 28/24, 28/26. Способ герметизации пустот / Машович А. Я., Заятдинов О. М., Белоусов Г. А., Терехов А. Н. Бюл. № 4. Опубл. 10.02.2003 г.
7. Корольченко А. Я., Корольченко О. Н. Средства огнезащиты: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с., илл.
8. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М.: Пожнаука, 2001. — 382 с., илл.

Поступила в редакцию 15.06.07.



Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности полетов и жизнедеятельности Московского государственного технического университета гражданской авиации, член-корреспондент Академии наук авиации и воздухоплавания

**Б. В. Зубков**



Доцент кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности Московского государственного технического университета гражданской авиации

**А. Н. Бочкарев**

УДК 658/562:621.396:681.5

## КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОТИВ УГРОЗЫ АКТОВ НЕЗАКОННОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА НА ОБЪЕКТАХ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

Рассматриваются комплексные методы обеспечения пожарной и авиационной безопасности на объектах воздушного транспорта.

В настоящее время на объектах воздушного транспорта для противодействия актам террора и незаконного вмешательства используются комплексные системы авиационной и пожарной безопасности. Задача таких систем — исключить попадание на объекты воздушного транспорта легковоспламеняющихся, взрывчатых и других опасных веществ, которые могут стать причинами пожара или другого акта незаконного вмешательства. Предназначение комплексных систем безопасности состоит также в том, чтобы своевременно предупредить о возможно высокой концентрации легковоспламеняющихся, взрывоопасных газов и токсичных веществ на объектах.

В качестве средств диверсий на объектах воздушного транспорта могут быть использованы легковоспламеняющиеся твердые вещества и жидкости, другие огнеопасные вещества и горючие предметы. В качестве средств террора также могут быть применены взрывчатые вещества (ВВ), которые бывают не только в виде твердых шашек или брикетов различного цвета, но и в жидким и газообразном состояниях.

Другая угроза безопасности — это взрывоопасные смеси, которые могут образовываться случайно, например в результате смешения различных частиц в ходе нарушения некоторых технологических и производственных процессов.

Серьезную опасность представляют жидкие и газообразные взрывоопасные смеси, которые могут быть изготовлены преступниками из доступных компонентов, имеющихся в свободной продаже. Найти подробные описания и рецепты тоже не составляет труда: в интернете их не меньше, чем в кулинарных изданиях.

Ряд взрывчатых веществ производится промышленным способом, их изготавливают, в основном, для военных нужд и производства работ в горнодобывающем секторе. Это могут быть твердые вещества, например как гексоген и тротил, а также пластические, напоминающие пластилин или резину по субстанции, именуемые обычно пластиковыми. Они состоят из сочетания мощного взрывчатого вещества и синтетического каучука, минерального масла, парафина или даже алюминиевого порошка. Характерная особенность таких взрывчатых веществ — консистенция, позволяющая придать им любую форму и обеспечить возможность плотного прилегания к неровной поверхности.

Взрывчатые вещества могут быть повышенной, нормальной или пониженной мощности. К первой группе относятся октоген, гексоген, тетрил и др., ко второй — пластические ВВ: тротил, динамиты. Пониженный показатель мощности имеют аммиачно-селитренные смеси.

Вообще, число веществ, способных при определенных условиях взрываться, действительно велико, но большая часть субстанций с такими свойствами не используется. Все дело в высокой чувствительности многих ВВ к механическому воздействию. Для детонации, например, нитроглицерина достаточно несильного удара двухкилограммовым грузом.

В чистом виде практически не используют взрывчатые вещества с высокой химической активностью, реагирующие на изменение температуры или способные удерживать влагу (гигроскопичные).

Еще один фактор, обуславливающий свойства ВВ, — качество его изготовления.

Опасность взрывчатых веществ и предметов состоит и в том, что после взрыва возникает пожар. Возникновение пожара после подрыва взрывоопасных предметов (ВОП) является следствием взрыва смеси газов или паров горючего с воздухом от какого-либо теплового источника с последующим догоранием невступившего во время взрыва в химическую реакцию горючего. Развитие указанных процессов происходит практически мгновенно, сопровождается сильными разрушениями и обширным пожаром во всем объеме, занимаемом смесью. Физические взрывы емкостей под давлением вызывают возникновение пожаров, даже если в результате термического воздействия взрыва произошло воспламенение отдельных предметов или веществ. Пожар при взрыве усиливается, особенно в тех случаях, когда в зоне распространения продуктов взрыва присутствуют емкости с горючими жидкостями или газами (бензином, керосином, метаном, бутаном, ацетиленом), обладающими наиболее высокой способностью к воспламенению и развитию горения. Среди наиболее взрывоопасных предметов следует выделить устройства, в которых в качестве взрывчатых веществ применяются пиротехнические составы, что обуславливается возможностью воспламенения окружающих предметов отдельными нагретыми частицами веществ, разлетающимися при взрыве от заряда на значительное расстояние. Кроме того, открытое пламя при использовании огневого способа взрывания также увеличивает вероятность возникновения пожара. Поэтому чрезвычайно важно не допустить попадание взрывчатых и легковоспламеняющихся веществ на объекты гражданской авиации.

Несмотря на огромное разнообразие взрывоопасных веществ, в их качестве может быть использован ограниченный ряд субстанций, полностью отвечающих определенным свойствам и эксплуатационным характеристикам. Для поиска таких ВВ и изготовленных на их основе ВОП разработаны специальные технические средства, к рассмотрению которых мы и переходим.

На сегодняшний день существует целый ряд устройств поиска и обнаружения ВВ. В основном это изделия, произведенные в России и США. По принципу действия их можно разделить на приборы обнаружения ВВ по прямым или косвенным признакам.

*Прямой признак* — это наличие собственно ВВ или его компонентов. Косвенным признаком является присутствие в исследуемом объекте определенных деталей из пластмассы или металла, различных микросхем, антенн, проводов, взрывателей и др.

К средствам поиска взрывчатых веществ по прямым признакам относятся устройства газового анализа (дрейф-спектрометры и газовые хроматографы), приборы, использующие ядерно-физические методы, а также специальные химические тесты. Действие обоих видов устройств газового анализа основано на обнаружении частиц или паров взрывчатых веществ в специально отобранных пробах воздуха.

Дрейф-спектрометры работают очень быстро. На обработку полученной информации затрачивается максимум несколько секунд. Отбор проб воздуха для анализа может осуществляться с расстояния 15–20 см. При этом не требуется непосредственного контакта с исследуемым объектом. Эти приборы очень эффективны при поиске летучих взрывчатых веществ, таких, например, как нитроглицерин или тротил. Летучесть гексогена и октогена в обычных условиях низка, но она повышается с увеличением температуры. Поэтому для поиска этих взрывчатых веществ при помощи дрейф-спектрометров используют различные теплогенераторы, дающие возможность работать поисковым приборам такого типа даже при низких температурах.

Дрейф-спектрометры помогают оперативно ответить на самый главный вопрос: есть взрывчатое вещество в исследуемом предмете или нет. А дальнейшее определение его типа, количественного и качественного состава и прочих характеристик — задача других приборов, например хроматографов.

Газовые хроматографы имеют высокую чувствительность и оснащены микропроцессором. На отбор каждой пробы и ее последующий анализ тратится в среднем около минуты. Хроматографы дают больший по сравнению с дрейф-спектрометрами объем информации и позволяют определять не только наличие взрывчатого вещества, но и его тип, а также количественное соотношение входящих в него веществ. Некоторые устройства могут даже на основе анализа микрочастиц установить, где была произведена партия, в которую входило исследуемое ВВ. Однако для забора проб нужен непосредственный контакт хроматографа с объектом исследования, а это требует особых условий и не всегда возможно.

Аппаратура на основе ядерно-физических принципов работы производится в основном в виде стационарных установок, способных определять ВВ любого типа независимо от того, какая форма ему придана. Например, в досмотровых зонах многих аэропортов используются устройства, работающие на принципах нейтронно-радиационного анализа. По эффективности поиска взрывчатых веществ они во много раз превосходят рентгено-теле-

визионные системы. Однако нейтронно-радиационная установка не обладает всеми функциями рентгеновской и не может ее заменить, поэтому используется на втором этапе досмотра багажа пассажиров. Существуют модификации нейтронно-радиационных установок, способные распознавать ВВ даже незначительного объема и массы, спрятанные в компактных электронных устройствах или сотовых телефонах.

Для почтовых служб аэропортов производятся приборы, работающие на основе метода ядерного квадрупольного резонанса. Они тестируют приходящие конверты, пакеты и другую корреспонденцию на наличие в ней взрывчатых веществ любых типов.

Для быстрого и эффективного обнаружения частиц ВВ на различных поверхностях, в том числе и на человеческой коже, широко используются специальные химические тесты. Они способны выявить следы взрывчатки, даже если исследуемый предмет уже длительное время с ней не контактировал. Для проб применяется тестовая бумага, которая после специальной обработки сигнализирует о наличии ВВ изменением цвета. Различные наборы подобных тестов позволяют выявлять такие взрывчатые вещества, как тротил, гексоген, октоген, аммиачно-селитренные, динамиты и ряд других веществ, а также смеси на их основе.

Во всем мире для поиска ВВ и ВОП наряду с техническими средствами используются специально подготовленные собаки. Они могут обнаруживать ВВ любых видов, независимо от того, как взрывоопасный предмет замаскирован. Собаки улавливают запах взрывчатого вещества на расстоянии нескольких метров. Они также способны находить взрывоопасные предметы там, где технические средства малоэффективны, например в грунте. Однако не стоит забывать, что даже хороша натренированная собака — это все-таки живое существо, подверженное естественному процессу утомления.

В 1991 г. Международное сообщество приняло Конвенцию о маркировании ВВ высоколетучими веществами для облегчения их поиска и идентификации. Доля маркированных ВВ, выпущенных промышленным способом, постепенно увеличивается, и скоро, будем надеяться, все без исключения производители взрывчатых веществ будут в обязательном порядке маркировать свою продукцию подобным образом. Это поможет в значительной степени упростить процедуру обнаружения ВВ, сделать поисковые устройства более мобильными и менее дорогими.

Наряду с устройствами обнаружения ВВ и ВОП по прямым признакам существует целый ряд приборов, задача которых — найти взрывное устройство

во по косвенным признакам. К таковым, как было отмечено вначале, относятся металлические и пластмассовые детали определенной формы, различные провода, микросхемы и т.д. Для их поиска используются металлоискатели и металлодетекторы, индукционные и радиоволновые миноискатели, нелинейные локаторы, специальное рентгеновское оборудование.

Понятно, что металлодетекторы и индукционные миноискатели направлены на обнаружение металлических частей в исследуемом объекте. Это оборудование достаточно чувствительно для того, чтобы находить подобные элементы даже незначительного веса и объема. Однако отсутствие металла еще не свидетельствует о безопасности предмета исследования.

С помощью нелинейных локаторов можно найти любые приборы, содержащие микросхемы и полупроводники, как бы хорошо они не были замаскированы. А рентгеновское оборудование во многих случаях позволяет выявить подозрительное содержание вещей, с виду ничем не примечательных.

Все вышеперечисленные системы указывают только на косвенные признаки, и однозначно судить о наличии в исследуемом предмете или помещении взрывоопасных предметов, основываясь только на показаниях таких приборов, по понятным причинам нельзя. Однако комплексное использование технических средств поиска и анализа прямых и косвенных признаков взрывоопасных веществ или устройств дает в итоге полный спектр данных, позволяющих не только подтвердить или опровергнуть факт наличия опасного предмета, но и при необходимости определить его тип и степень опасности.

Для обеспечения авиационной и пожарной безопасности создан целый комплекс технических средств и методик их применения.

Анализ актов незаконного вмешательства показывает, что стационарный объект гражданской авиации, например аэровокзальный комплекс, должен оборудоваться различными датчиками контроля (ядовитых паров синильной кислоты, хлора, аммиака, горючих, легковоспламеняющихся и взрывоопасных газов пропана, метана и др.) с подключением к радиоканалу. Подвижный объект гражданской авиации (воздушное судно) снабжается мобильными средствами, связанными с системой навигации. По радиоканалу в диспетчерский пункт централизованного наблюдения службы авиационной безопасности аэропорта постоянно передаются данные о состоянии датчиков контроля стационарных объектов гражданской авиации и координаты движущихся объектов, перевозящих опасные грузы, а в экстременных случаях — сигналы “Тревога”.

Пороги срабатывания датчиков обнаружения ядовитых и взрывоопасных газов при их возможном обнаружении на объектах воздушного транспорта

Название ядовитого вещества	Плотность газа (пара) в воздухе, %	Порог срабатывания датчиков, при концентрации газа в воздухе	
		%	мг/м <sup>3</sup>
Аммиак	0,6	20–60	
Окись углерода	1,0	0,02	
Хлор	2,5	20–40	
Метан	0,6	0,3	
Пропан	1,6	0,21	
Бутан		0,18	
Ртуть (пары)	7,0	0,01–0,005	

При срабатывании какого-либо датчика контроля на объекте гражданской авиации включается локальная сигнализация (при необходимости отключается технологическое оборудование, подача топлива, электрическое и тепловое питание) и одновременно информация о нештатной ситуации передается в службу “01”.

В помещениях, где возможно скопление ядовитых, легковоспламеняющихся и взрывоопасных газов (окись углерода, метана), плотность которых меньше плотности воздуха, датчики следует устанавливать на расстоянии 20–30 см от поверхности потолка.

В местах, где возможно скопление ядовитых и взрывоопасных газов (пропана или бутана, паров сжиженного аммиака), плотность которых превышает плотность воздуха, датчики следует устанавливать на расстоянии 20–25 см над уровнем пола.

В настоящее время интегрируются в систему охранно-пожарной сигнализации и конфигурируются с различными исполнительными устройствами датчики газа СКВА-01, DAG 12, DACO и др.

Датчики серии СКВА-01, DAG 12, DACO и другие модификации могут осуществлять непрерывный автоматический контроль за содержанием в

воздухе ядовитых и взрывоопасных газов, указанных в таблице.

При возможном обнаружении на объектах гражданской авиации паров взрывоопасных и ядовитых газов датчики DAG 12, DACO выдают световой и звуковой сигналы. Если это взрывоопасный газ, то порог срабатывания датчиков соответствует 10% от минимального предела взрывоопасной концентрации газа.

Опасность некоторых ядовитых веществ (например, паров ртути) состоит в том, что они способны сорбироваться из воздуха материалами конструкций, деревянными изделиями, оштукатуренными стенами, потолками, оседают в швах кирпичной кладки, бетонных плит, откуда они снова попадают в воздух помещения при повышенных температурах (выше 28°C).

При срабатывании датчиков газового контроля следует немедленно проветрить помещение (открыть окна, двери), срочно передать сигнал тревоги в аварийную службу (службу МЧС), организовать немедленную эвакуацию авиапассажиров и обслуживающего персонала из загазованного объекта. Для этого согласно ППБ 01–93 “Правила пожарной безопасности в РФ” в зданиях и сооружениях объектов гражданской авиации при единовременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и вывешены на видных местах планы (схемы) эвакуации обслуживающего персонала и пассажиров в случае возможного пожара (выброса токсических газообразных веществ), а также предусмотрена система (установка) оповещения людей о пожаре или загазованности помещений.

Следовательно, внедрение на объектах гражданской авиации комплексных систем безопасности, в том числе с использованием датчиков газового контроля, позволит исключить возможный риск совершения актов незаконного вмешательства, связанный с применением в качестве средств диверсий легковоспламеняющихся, взрывоопасных, ядовитых и отправляющих веществ (газов).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вишняков Я. Д. Основы противодействия терроризму. — М.: Издательский центр “Академия”, 2006.
2. Нерадько А. В. О принятии на оснащение аэропортов и авиапредприятий гражданской авиации сертифицированных технических средств обеспечения авиационной безопасности. — М.: ИнфоАвиа, 2001.

Поступила в редакцию 18.06.07.



Канд. техн. наук, профессор,  
заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС РФ по учебной работе

**А. И. Овсяник**



Д-р техн. наук,  
заведующий кафедрой  
Академии ГПС МЧС РФ

**В. А. Седнев**

УДК 614.841

## МЕТОДОЛОГИЯ ОБОСНОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА И ОЦЕНКИ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Предложена методология обоснования инженерно-технических мероприятий предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера и оценки их эффективности на территории региона страны, включающая аппарат исследования достаточности реализованных (планируемых) мероприятий по обеспечению безопасного функционирования региона страны, оптимизационные модули для решения задач выбора допустимого комплекса защитных мероприятий, минимизирующего среднеожидаемые годовые потери населения (среднеожидаемый годовой ущерб) от различных ЧС.

Актуальность исследований в направлении обоснования состава мероприятий предупреждения чрезвычайных ситуаций обусловлена урбанизацией территорий, увеличением плотности населения в районах городских поселений, ростом показателя прямого ущерба от источников ЧС природного и техногенного характера. Кроме того, опыт показывает, что на сегодняшний день отсутствуют общепринятые целостные модели, внедренные в практику территориальных органов управления ГО ЧС, предназначенные для решения задач управления рисками [1]. Исходя из вышесказанного целью разрабатываемого методического подхода является создание: аппарата исследования достаточности реализованных (планируемых) мероприятий по обеспечению функционирования региона страны; оптимизационных модулей для решения задач выбора допустимого комплекса защитных мероприятий, минимизирующего среднеожидаемые годовые потери населения (среднеожидаемый годовой ущерб) от различных ЧС.

В предлагаемой модели основными являются блоки:

- формирования базы исходных данных;
- определения воздействия на население и территории при ЧС техногенного характера;
- определения воздействия на население и территории при ЧС природного характера;
- выбора комплекса защитных мероприятий.

При этом многие этапы алгоритма управления рисками решаются на основе профессионального и

жизненного опыта лица, принимающего решение, начиная от определения источников формирования полей негативного воздействия и заканчивая рекомендациями по снижению риска.

Важнейшую, на взгляд авторов статьи, роль в общей концепции модели занимает блок формирования базы исходных данных. В состав необходимых исходных данных включены характеристики населенных пунктов, опасных объектов, набора предлагаемых защитных мероприятий, возможные источники ЧС (техногенного характера) и другие показатели.

Систематизировать состав и структуру исходных данных можно путем выработки требований к составу географической информационно-аналитической системы (ГИАС) как системы пространственно-ориентированных данных.

При этом состав исходных данных должен базироваться на географических информационных системах (ГИС) применительно к рассматриваемой территории и включать данные, необходимые для качественного решения поставленных задач.

Воздействие территориального уровня будет формироваться источниками ЧС природного и техногенного характера (выброс аварийных химически опасных веществ (АХОВ), сейсмическое воздействие, наводнения, ландшафтные пожары, взрывы и пожары на пожаро- и взрывоопасных объектах (ПВОО)).

При определении воздействия на население и территории ЧС техногенного характера важно

найти значение показателей индивидуального риска с учетом вероятности формирования источника ЧС регионального масштаба. Алгоритм определения при этом следующий:

- моделирование вероятности формирования источника ЧС регионального масштаба;
- расчет параметров поражающих факторов источников ЧС в зоне потенциально опасных объектов регионального уровня (ПООРУ) (пожароопасных, химически опасных, взрывоопасных);
- установление аналитической зависимости, характеризующей пробит-функцию конкретного типа воздействия;
- оценка возможных последствий рассматриваемых ЧС регионального уровня;
- определение показателей индивидуального риска и сопоставление их с принятым для рассматриваемого региона нормативным значением;
- вычисление показателей материального ущерба [2].

Эффективному решению такой задачи способствуют расчетные методики, реализованные в виде специальных компьютерных программ (“Сфера”, “АХОВ”, “КВВ”, “Волна”, “Медикал” и др.), позволяющих производить количественную оценку значений опасных (поражающих) факторов и показателей возможной инженерной, а также медицинской обстановки [3].

При определении воздействия на население и территории ЧС *природного характера* также важно найти вероятность формирования источника ЧС природного характера и выйти на показатель индивидуального риска.

Необходимо выполнить:

- моделирование вероятности формирования региональной ЧС природного характера (наводнения, ландшафтные пожары, землетрясения);
- расчет параметров поражающих факторов источников ЧС на территории региона с учетом выполненных инженерно-технических мероприятий;
- формирование моделей сопротивления воздействию (моделей разрушения зданий и сооружений, моделей поражения людей);
- оценку возможных последствий рассматриваемых ЧС регионального уровня;
- определение показателей индивидуального риска и сопоставление их с принятым для рассматриваемого региона нормативным значением;
- расчет показателей материального ущерба.

Здесь также имеется ряд специальных компьютерных программ, которые могут быть использованы для решения поставленной задачи (“Сейсмика”, “Ландшафтный пожар” и др.) [4].

Кроме того, для цифровой модели местности могут быть созданы так называемая TIN (Triangulated Irregular Network — триангуляционная нерегулярная сеть) местности, затем расчетная GRID (Global Resource Information Database — растровая модель данных), получен результирующий шейпфайл, позволяющий установить зоны затопления при подъеме воды в прилегающем к рассматриваемому участку местности водоему на заданную высоту. Пример такого подхода представлен на рисунке.

Заключительный блок предлагаемой модели — выбор комплекса защитных мероприятий на основе математической оптимизационной модели.

Пусть рассматривается некоторая территория  $S$ . На основании проводимых мероприятий по мониторингу выявлен наиболее вероятный набор возможных ЧС как техногенного, так и природного характера, имеющих среднегодовые вероятности возникновения  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ . Рассматривается также некоторое конечное множество возможных защитных мероприятий, которые характеризуются типом, объемом и местом проведения на данной территории, в количестве  $m$ . Пусть  $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$  — вектор инцидентности выбора защитных мероприятий, а именно  $z_i = 1$ , если  $i$ -е мероприятие выбирается для реализации, иначе  $z_i = 0$ .

На первом этапе рассматриваются две задачи.

**Задача 1.** Оценка среднеожидаемых годовых потерь населения на данной территории от интегрального воздействия всех рассматриваемых ЧС (безвозвратные потери) ( $EL(S, z)$ ). В простейшем случае это можно вычислить следующим образом:

$$EL(S, z) = \int_S \rho(x, y) \left[ 1 - \prod_{i=1}^m \{1 - P_i(z, (x, y))\} \right] ds, \quad (1)$$

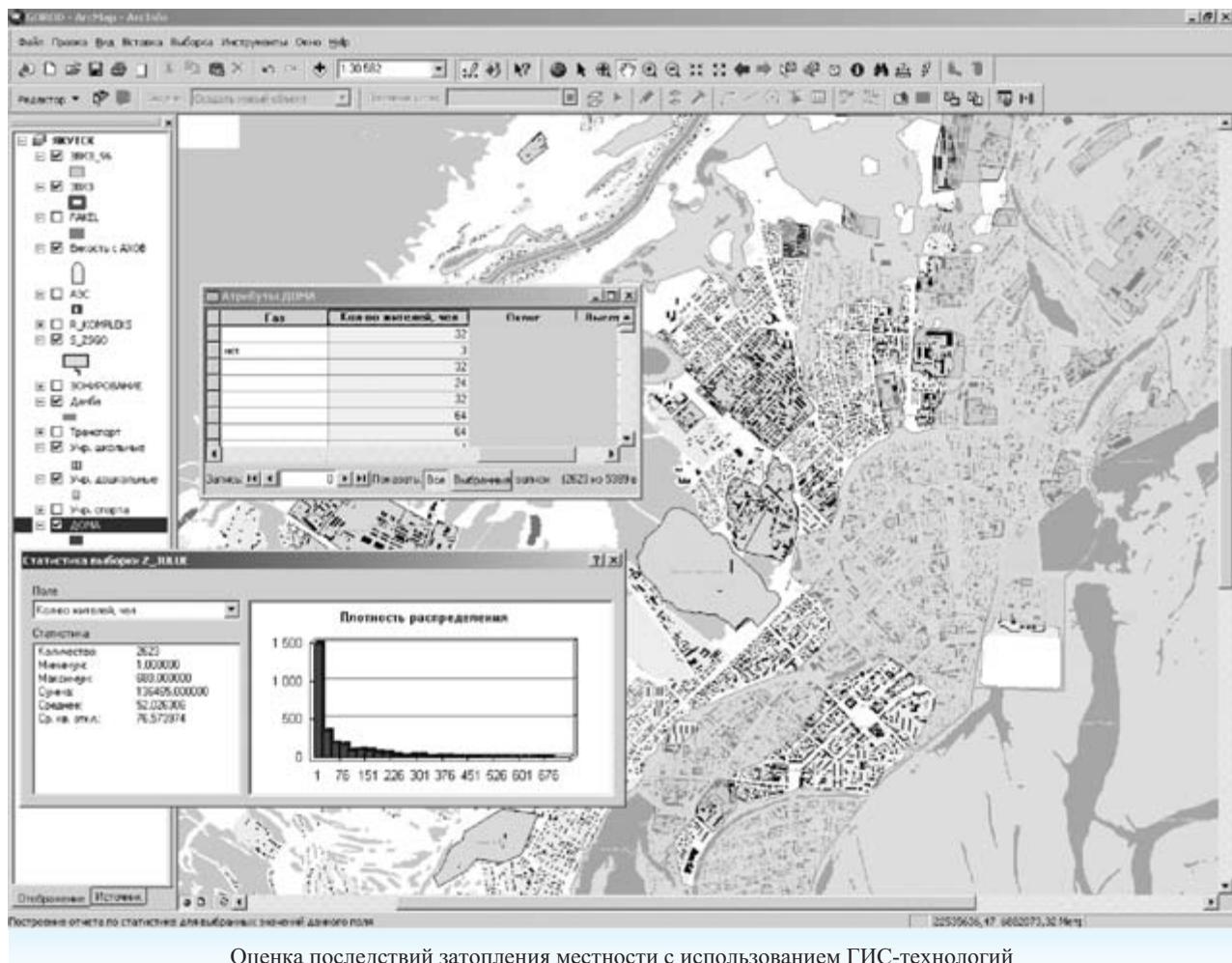
где  $\rho(x, y)$  — функция плотности распределения населения по территории  $S$ ;

$P_i(z, (x, y))$  — вероятность гибели человека в течение года в точке  $(x, y)$  от фактора  $i$  при условии, что защитные мероприятия на данной территории проведены согласно вектору  $z$ ;

$ds$  — дифференциал переменной интегрирования (элементарная площадка).

**Задача 2.** Оценка интегрального среднеожидаемого ущерба здоровью населения в течение года на данной территории от различных ЧС (санитарные потери)  $EU(S, z)$ .

При решении данной задачи ситуация усложняется тем, что, как правило, для ЧС каждого вида есть своя мера ущерба здоровью человека (например, степень лучевой болезни — радиоактивное заражение, степень ожогов — пожар). Поэтому первоначально решается задача приведения ущербов



Оценка последствий затопления местности с использованием ГИС-технологий

здоровью человека от различных факторов к некоторой единой унифицированной шкале ущербов. Пусть  $U_i(z, (x, y))$  — среднеожидаемый ущерб от  $i$ -й ЧС в точке  $(x, y)$  по унифицированной шкале при выборе защитных мероприятий согласно вектору  $z$ . Тогда в простейшем случае можно оценить среднеожидаемый ущерб здоровью населения на территории  $S$  от  $i$ -й ЧС при определенном выборе защитных мероприятий  $z$  как:

$$EU_i(S, z) = \int_S U_i(z, (x, y)) \rho(x, y) ds, \quad (2)$$

где, как и ранее,  $\rho(x, y)$  — распределение плотности населения;

$ds$  — дифференциал переменной интегрирования (элементарная площадка).

Интегральную оценку среднеожидаемого ущерба на территории  $S$  можно вычислить следующим образом:

$$EU(S, z) = Q_1 EU_1(S, z) + \dots + Q_m EU_m(S, z). \quad (3)$$

В случае, когда последствия от ЧС зависят от энергетической характеристики  $\gamma$  (силы фактора),

меняющейся на некотором диапазоне ( $a \leq \gamma \leq b$ ), соотношение (2) трансформируется к виду:

$$EU_i(S, z) = \int_a^b P_i(\gamma) \left[ \int_S U_i(\gamma, z, (x, y)) \rho(x, y) ds \right] d\alpha, \quad (4)$$

где  $P_i(\gamma)$  — распределение вероятности энергетической характеристики фактора  $i$ .

В модели учитывается также ситуация, когда последствия от некоторой ЧС зависят от различных характеристик сопутствующих факторов, таких, например, как сила  $\alpha$  и направление  $\beta$  ветра при ЧС, связанных с химическим или радиационным заражением. В этом случае соотношение (2) трансформируется в следующее выражение:

$$EU_i(S, z) = \int_F P(\alpha, \beta) \left[ \int_S U_i(z, (x, y), (\alpha, \beta)) \rho(x, y) ds \right] df, \quad (5)$$

где  $(x, y) \in S$  — множество рассматриваемых точек территории;

$(\alpha, \beta) \in F$  — множество точек в пространстве параметров сопутствующего фактора [5];

$P_i(\alpha, \beta)$  — распределение вероятности энергетических характеристик фактора  $i$ ;

$df$  — дифференциал переменных интегрирования (элементарная площадка множества  $F$ ).

Модель предназначена не только для расчета среднеожидаемых потерь (задача по определению безвозвратных потерь) и среднеожидаемого ущерба здоровью населения (задача по определению санитарных потерь), но и для решения задачи об оптимальном выборе комплекса защитных мероприятий, который минимизировал бы вышеописанные характеристики для данной территории  $S$ , а именно рассматриваются:

### Задача 3

$$\begin{aligned} EL(S, z) \rightarrow \min_z \\ (c, z) \leq V \\ Az \leq 0 \\ Bz = 1 \end{aligned}$$

Задача оптимального выбора допустимого комплекса защитных мероприятий, минимизирующего среднеожидаемые годовые потери населения от различных ЧС на территории  $S$ .

### Задача 4

$$\begin{aligned} EU(S, z) \rightarrow \min_z \\ (c, z) \leq V \\ Az \leq 0 \\ Bz = 1 \end{aligned}$$

Задача оптимального выбора допустимого комплекса защитных мероприятий, минимизирующего среднеожидаемый интегральный годовой ущерб здоровью населения от различных ЧС на территории  $S$ .

В задачах 3 и 4:  $V$  — среднегодовой объем средств, выделенных на проведение защитных мероприятий в рассматриваемый период планирования;  $c_i$  — приведенная годовая стоимость проведения  $i$ -го мероприятия, определяемая как сумма двух показателей. Первый показатель есть отношение полной стоимости проведения  $i$ -го мероприятия к расчетному времени эксплуатации  $i$ -го мероприятия до капитального ремонта или реконструкции, второй — среднегодовые эксплуатационные расходы, связанные с реализацией  $i$ -го мероприятия;  $A$  и  $B$  — матрицы, задающие возможные ограничения на комплекс защитных мероприятий.

Раскрывая понятие  $U_i(z, (x, y))$  — среднеожидаемый ущерб от  $i$ -й ЧС в точке  $(x, y)$  — при выборе защитных мероприятий согласно вектору  $z$  можно рассмотреть следующий подход.

Для выявления спектра значений поражающего фактора, вызывающего санитарные потери (ущерб здоровью), необходимо использовать пороговые значения показателей, вызывающего поражение и приводящего к смертельному поражению. Например, для избыточного давления — это 10–100 кПа.

При выполнении расчетов население, оказавшееся в зоне действия поражающего фактора данного диапазона, может быть отнесено к санитарным потерям. Рассмотрим алгоритм решения поставленной задачи. Для его реализации целесообразно использовать технику аппроксимации нелинейных функций кусочно-постоянными. При этом уменьшая шаг сетки, можно получать высокую точность вычислений. Сущность такого подхода заключается в следующем.

Рассмотрим некоторый прямоугольный фрагмент сетки в пространстве переменных  $x$  и  $y$ , покрывающий множество  $S$ . Будем рассматривать сетки с переменным шагом. Это позволит достичь большую точность вычислений при меньшем количестве узлов. С вычислительной точки зрения эффективно уменьшать шаг сетки (расстояние между смежными узлами) в тех областях диапазона, где изменения аппроксимируемой (приближаемой) функции больше. Для гладкой функции это равнозначно большему абсолютному значению ее частной производной по соответствующей переменной. Введение сетки для задачи 1 означает, по сути, введение двух систем узлов по каждой из переменных. Пусть  $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_{k \max}$  — система узлов по переменной  $x$ ,  $y_1, y_2, \dots, y_l, \dots, y_{l \max}$  — по переменной  $y$ . Обозначим шаги сетки по переменным  $x$  и  $y$  как  $h_k = x_{k+1} - x_k$  и  $h_l = y_{l+1} - y_l$  соответственно. Точки  $(x_k, y_l)$  в пространстве переменных  $x$  и  $y$  назовем узлами сетки.

Запишем соотношение (1) в разностном виде на введенной сетке:

$$EL_{cem}(S, z) = \sum_{k=1}^{k \max - 1} \sum_{l=1}^{l \max - 1} \rho(x_k, y_l) \times \left[ 1 - \prod_{i=1}^m \{1 - P_i(z, (x_k, y_l))\} \right] h_k h_l. \quad (6)$$

При этом если узел  $(x_k, y_l)$  не принадлежит множеству  $S$ , то  $\rho(x_k, y_l) = 0$ .

Можно показать, что  $EL_{cem}(S, z) \rightarrow EL(S, z)$  при  $\max h_k \rightarrow 0$  и  $\max h_l \rightarrow 0$ . Именно этот факт и обосновывает замену вычисления выражения (1) вычислением выражения (6) при достаточно малом шаге сетки.

Для задачи 2 введение сетки происходит аналогично, а соотношение (2) принимает вид:

$$EU_{icem}(S, z) = \sum_{k=1}^{k \ max - 1} \sum_{l=1}^{l \ max - 1} \rho(x_k, y_l) U_i(z, (x_k, y_l)) h_k h_l, \quad (7)$$

и справедливо аналогичное утверждение о близости соотношений (2) и (7) при достаточно малых величинах шагов сетки.

При сеточной аппроксимации соотношения (4) возникает необходимость введения дополнительной сетки по параметру  $\gamma$ . Пусть эта сетка имеет вид  $a = \gamma_1 < \dots < \gamma_m < \dots < \gamma_{m \max} = b$ , тогда соотношение (4) запишется следующим образом:

$$EU_{i \text{ cem}}(S, z) = \sum_{i=1}^{m \max - 1} P_i(\gamma_m) \times \\ \times \left[ \sum_{k=1}^{k \ max - 1} \sum_{l=1}^{l \ max - 1} \rho(x_k, y_l) U_i(z, (x_k, y_l)) h_k h_l \right] h_m. \quad (8)$$

При этом справедливо аналогичное утверждение о близости соотношений (4) и (8) при достаточно малых величинах шагов по обеим сеткам.

При сеточной аппроксимации соотношения (5) возникает необходимость введения дополнительной сетки по параметрам  $(\alpha, \beta) \in F$ . Пусть эта сетка имеет вид  $\alpha_1 < \dots < \alpha_m < \dots < \alpha_{m \ max}$  по параметру  $\alpha$  и  $\beta_1 < \dots < \beta_p < \dots < \beta_{p \ max}$  по параметру  $\beta$ . Тогда соотношение (5) примет вид:

$$EU_{i \text{ cem}}(S, z) = \sum_{p=1}^{p \ max - 1} \sum_{i=1}^{m \ max - 1} P_i(\alpha_m, \beta_p) \times \\ \times \left[ \sum_{k=1}^{k \ max - 1} \sum_{l=1}^{l \ max - 1} \rho(x_k, y_l) U_i(z, (x_k, y_l)) h_k h_l \right] h_m h_p. \quad (9)$$

При этом справедливо аналогичное утверждение о близости соотношений (5) и (9) при достаточно малых величинах шагов по обеим сеткам, а именно сетке, покрывающей множество  $S$ , и сетке, покрывающей множество  $F$ .

Состав защитных мероприятий в нашей модели, как правило, характеризуется инженерной направленностью, однако это не носит принципиального характера. К числу таких мероприятий относится:

- повышение сейсмоустойчивости зданий и сооружений;
- намыв грунтов с целью повышения отметок затопляемых территорий;
- строительство водозащитных дамб;
- оборудование обвалований емкостей с АХОВ;
- подготовка технических систем постановки водяных завес и заливки водой (дегазатором) на случай разлива АХОВ;
- осуществление мероприятий по инженерной защите, направленных на защиту населения, а также рабочих и служащих в зонах с опасными концентрациями, избыточным давлением воздушно-ударной волны, обломками конструкций;
- оборудование заградительных минерализованных полос и канав для защиты населенных пунктов, расположенных в лесных массивах;
- применение легкосбрасываемых конструкций;

- обвалование мест хранения горючих и легко воспламеняющихся жидкостей;
- оборудование мест с возможным разливом горючих и легковоспламеняющихся жидкостей поддонами, колодцами и желобами сбора разливов этих жидкостей;
- устройство теплозащитных и теплоотражающих экранов для уменьшения зон действия опасных факторов пожара [6].

Задачи 3 и 4 представляют собой задачи целочисленного программирования, в которых в качестве функционалов необходимо использовать их разностные аппроксимации, приведенные выше [7]. Для решения подобных задач применяется метод ветвей и границ, заключающийся в вычислении оценок сверху целевой функции  $F(x)$  на подмножествах множества  $x$ :  $F(x) \leq R(X')$ ,  $x \in X'$ . При этом используется доопределение значений функционалов на расширенном множестве следующего вида:

$$P_i(z, (x_k, y_l)) = P_i(z_1, \dots, z_m, (x_k, y_l)) = \\ = P_i\left(\left[\frac{1}{2} + z_1\right], \dots, \left[\frac{1}{2} + z_m\right], (x_k, y_l)\right); \quad (10)$$

$$U_i(z, (x_k, y_l)) = U_i(z_1, \dots, z_m, (x_k, y_l)) = \\ = U_i\left(\left[\frac{1}{2} + z_1\right], \dots, \left[\frac{1}{2} + z_m\right], (x_k, y_l)\right). \quad (11)$$

Другим известным классом методов решения целочисленных оптимизационных задач являются методы отсекающих плоскостей. Однако задача выбора защитных мероприятий, будучи целочисленной, имеет специфику, а именно, переменные задачи являются переменными булевого типа, т.е. принимают только два значения — 0 или 1. Для решения подобных задач обычно используется так называемый аддитивный алгоритм. Для решения нелинейных задач с булевыми переменными используется также обобщенный аддитивный алгоритм. Первый точный алгоритм решения булевой задачи предложил Э. Балаш в 1966 г., этот алгоритм и получил название аддитивного.

В случае, когда целочисленные переменные являются булевыми, применяются также комбинированные методы, например метод последовательного анализа вариантов, включающий в себя идеи динамического программирования. Булевые свойства переменных существенно упрощают поиск решения. Для решения задач линейного булева программирования большой размерности используются также методы случайного поиска и случайного поиска с обучением. Для задач большой размерности также применяются различные декомпозиционные алгоритмы, которые базируются на схемах последовательного анализа и отсева вариантов. При этом

сужение исходного множества вариантов осуществляется путем отсея отдельных компонент, что дает возможность свести решение исходной задачи большой размерности к решению совокупности подзадач малых размерностей.

Таким образом, авторами рассмотрена концепция модели обоснования инженерно-технических мероприятий предупреждения ЧС, базирующаяся на пространственно-ориентированных базах дан-

ных и оптимизационных задачах по обоснованию защитных мероприятий.

Направлениями дальнейшего изучения могут быть: проведение дополнительных исследований по выявлению влияния защитных мероприятий на показатели индивидуального риска; создание единого программного кода для реализации всех блоков модели; апробация разработанного подхода на примере одного из субъектов РФ.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Федеральный закон от 12 февраля 1998 г. № 28-ФЗ “О гражданской обороне” (с изм. от 9 октября 2002 г. и 19 июня 2004 г.)
2. ГОСТ Р 22.0.02–94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий (с изм. от 31 мая 2000 г.)
3. Овсяник А. И., Белицкий В. И. Научно-методические основы разработки географической информационно-аналитической системы для органов управления РСЧС // ARCREVIEW. — 2003. — Vol. 26, №3.
4. Овсяник А. И., Косоруков О. А. Оценка и управление рисками при чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие. — М.: ВИА, 2005. — 106 с.
5. Овсяник А. И., Косоруков О. А., Чурбанов О. И. Управление рисками при чрезвычайных ситуациях и повышение эффективности защитных мероприятий оптимизационными методами распределения ресурсов для минимизации ожидаемого ущерба // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — М.: ВИНТИ, 2000. — Вып. 1.
6. Макаров С. П. Технические и организационные мероприятия по снижению риска и смягчению последствий ЧС на магистральных нефтепродуктопроводах // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — М.: ВИНТИ, — 2001. — Вып. 5. — С. 72–77.
7. Сухарев А. Г., Тимохов А. В., Федоров В. В. Курс методов оптимизации. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986. — 328 с.

Поступила в редакцию 26.06.07.



Д-р техн. наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Университет гражданской защиты  
Украины

**Ю. А. Абрамов**



Д-р техн. наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Университет гражданской защиты  
Украины

**А. Е. Басманов**

УДК 614.8

## МИНИМИЗАЦИЯ УЩЕРБА ПРИ ПОЖАРЕ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ

Поставлена задача оптимального расположения и выбора боевых задач для пожарных стволов при локализации пожара в резервуарном парке. Рассмотрены детерминированная и стохастическая постановки задачи. Предложены метод и алгоритм ее решения, охватывающие оба случая. Полученное решение может быть использовано при разработке плана локализации и ликвидации пожара в резервуарном парке.

**Постановка проблемы.** Ущерб от пожара в резервуарном парке во многом определяется тем, насколько быстро удается его локализовать и не допустить его дальнейшего распространения. Первоочередной задачей пожарных подразделений является охлаждение горящего резервуара и соседних с ним. При этом существует множество вариантов размещения стволов и выбора боевых задач для них. Не все они равноценны, поэтому из этого множества необходимо выбрать оптимальный в некотором смысле вариант.

**Анализ публикаций.** Методика расчета сил и средств для защиты резервуаров и подготовки пенной атаки рассмотрена в специальной литературе [4, 5]. При этом остается открытым вопрос о том, что делать, если не удается сразу развернуть достаточно стволов для охлаждения резервуаров, и как выбрать первоочередную задачу. В работах [1, 3] построена модель нагрева резервуара с нефтепродуктом под действием излучения от факела горящего резервуара, являющаяся основанием для расчета предельного времени начала охлаждения и необходимых для этого сил и средств.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является минимизация ущерба от пожара в резервуарном парке путем оптимального размещения сил и средств для локализации пожара и выбора боевых задач для них.

На оценку удачности того или иного варианта размещения стволов влияют следующие факторы:

1. Эффективность охлаждения.
2. Безопасность относительно возможного взрыва или разлива нефтепродукта.
3. Досягаемость резервуара струей воды из ствола.

4. Тепловой поток от горящего резервуара.
5. Наличие препятствий (резервуаров или других сооружений) между стволов и охлаждаемым резервуаром.
6. Другие ограничения, связанные с тактико-техническими характеристиками используемых стволов или правилами техники безопасности.

Факторы 2–6 являются ограничениями, а 1-й — критерием задачи оптимального расположения стволов для охлаждения резервуаров. Другими словами, задача состоит в том, чтобы добиться наилучшего охлаждения, исходя из имеющихся сил и средств, таким образом, чтобы выполнить ограничения 2–6.

Под эффективностью охлаждения будем понимать недопустимость превышения температурой некоторого критического значения. Для горящего резервуара такой критической температурой будет температура, при которой сухая стенка теряет свою прочность, для негорящего — это температура самовоспламенения нефтепродукта.

При слишком близком расположении личного состава и техники к горящему резервуару возникает угроза для них в случае вскипания и пролива нефтепродукта в обвалование. Негорящий резервуар также опасен ввиду возможности его взрыва. Поэтому в Руководстве [5] минимальное расстояние до резервуара допускается равным 10 м.

Тепловой поток от горящего резервуара затрудняет действия пожарных подразделений и может потребовать их дополнительной защиты в виде водяной завесы из распыленных струй. Поэтому, по

возможности, следует выбирать позицию с меньшим тепловым потоком.

Если бы охлаждаемый резервуар был расположен отдельно, то размещать стволы для его охлаждения можно было бы произвольно, руководствуясь только перечисленными выше факторами. В практической ситуации, когда резервуар входит в группу, очевидно, что ствол может быть расположен только на свободном пространстве. Более того, между ним и резервуаром не должно оказаться никаких сооружений.

Существуют и другие ограничения на размещение стволов. Таким ограничением является, например, длина рукавной линии. Меры безопасности не допускают пребывания ствольщиков в обваловании резервуара при наличии пролива нефтепродукта, не покрытого слоем пены, и при отсутствии работающих пеногенераторов или пенных стволов в местах работы личного состава [5]. Другим примером является ситуация, когда в охлаждении могут быть задействованы стационарно установленные стволы. Их положение фиксировано, необходимо только выбрать позицию для дополнительных стволов.

Сформулируем основные допущения, лежащие в основе задачи оптимизации.

1. В распоряжении имеется  $m$  стволов со временем боевого развертывания  $t_1, t_2, \dots, t_m$ . Различное время, требуемое для их подготовки, связано, в первую очередь, с неодновременным прибытием пожарных подразделений к месту пожара. Различие может быть вызвано также тактико-техническими характеристиками тех или иных стволов. Будем предполагать, что

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m, \quad (1)$$

в противном случае перенумеруем стволы так, чтобы указанное неравенство было выполнено. Каждому стволу присущи свои тактико-технические характеристики и, следовательно, ограничения, вытекающие из факторов 2–6, могут быть различными для каждого из стволов.

2. Размеры стволов пренебрежимо малы по сравнению с резервуарами; два ствOLA могут быть сколь угодно близко расположены друг к другу или к другим объектам резервуарного парка.

3. Форма факела над горящим резервуаром может быть приближенно описана конусом, наклоненным под действием ветра. При рассмотрении стохастический модели пожара [2, 3] это требование можно снять, заменив его предположением о нормальном законе распределения пульсаций пламени и его температуры.

4. Тепловые процессы в горящем и соседних с ним резервуарах могут быть описаны моделями, приведенными в публикациях [1–3].

5. В ходе развертывания сил и средств боевая обстановка на пожаре не изменяется: не происходит новых возгораний, взрывов, проливов нефтепродукта.

6. Задача, поставленная перед стволов, остается неизменной на протяжении всего рассматриваемого промежутка времени.

Перед пожарными подразделениями стоит задача охлаждения стенок как горящего резервуара, так и соседних с ним. В дальнейшем, если это специально не оговорено, под охлаждаемым резервуаром будем понимать оба этих случая. Кроме того, необходимо предусмотреть один лафетный ствол для охлаждения дыхательной арматуры на соседних резервуарах [5].

Рассмотрим охлаждение группы из  $N$  резервуаров, среди которых есть горящие и негорящие. Введем целевую функцию  $H$ , аргументами которой являются параметры, характеризующие состояние резервуара. Эти характеристики могут быть как детерминированными (температура), так и вероятностными (закон распределения температур). Конкретные виды целевых функций, основанные на детерминированном и стохастическом подходах к прогнозированию каскадного распространения пожара, будут рассмотрены ниже. Сейчас же для определенности будем только полагать необходимость минимизации функции цели:

$$H \rightarrow \min.$$

Каждый резервуар разобъем вертикальными секущими плоскостями, проходящими через его ось, на  $n$  одинаковых сегментов. Для простоты полагаем, что каждый резервуар разбивается на равное количество сегментов, но дальнейшие рассуждения не изменятся и в случае, когда количество сегментов различно. Будем предполагать, что все физические характеристики (например, температура) одинаковы в пределах каждого из сегментов. Перед каждым стволов будем ставить боевую задачу, заключающуюся в указании номера резервуара  $r$  и перечислении тех сегментов резервуара, которые он должен охлаждать, либо в указании резервуара  $r$ , дыхательную аппаратуру которого он должен охлаждать. Это означает, что боевая задача для ствола  $k$  может быть описана тройкой целых чисел  $(r_k, s_k, f_k)$ ,  $1 \leq r_k \leq N$ ,  $1 \leq f_k \leq n$ ,  $1 \leq s_k \leq n$ , задающих резервуар  $r_k$  и диапазон охлаждаемых сегментов от  $s_k$  до  $f_k$  включительно. Под задачей  $(r_k, 0, 0)$  будем понимать охлаждение дыхательной арматуры резервуара  $r_k$ , под задачей  $0_k = (0, 0, 0)$  — бездействие ствола  $k$ , т.е. неиспользование его для выполнения какой-либо задачи. Тогда общая боевая задача для всех  $m$  стволов, имеющихся в распоряжении,

может быть описана вектором размерности  $3m$  с целочисленными координатами

$$(r_1, s_1, f_1, r_2, s_2, f_2, \dots, r_m, s_m, f_m).$$

Множество всех таких векторов образует множество возможных боевых задач  $Z$ . Однако не всякая такая задача является выполнимой. Так, из геометрических соображений ясно, что один ствол не может охлаждать больше, чем полупериметр резервуара, т.е.

$$\|s - f\| < \frac{n}{2},$$

где  $\|s - f\|$  — количество охлаждаемых сегментов,

$$\|s - f\| = \begin{cases} f - s + 1, & f - s \geq 0 \\ f - s + n + 1, & f - s < 0 \end{cases}.$$

Условия 2–6, приведенные выше, накладывают дополнительные ограничения на множество допустимых боевых задач  $\Omega \subset Z$ . Запишем ограничения 2–3. Рассмотрим множество точек, из которых ствол может выполнить боевую задачу  $(r, s, f)$ , т.е. из которых возможно охлаждение дуги  $SF$  периметра резервуара (рис. 1). Здесь предполагается, что дуга  $SF$  содержит все сегменты из диапазона  $(s, f)$ , т.е. точки  $S$  и  $F$  являются концами сегментов  $s$  и  $f$  соответственно.

Пусть середина основания  $O$  охлаждаемого резервуара находится в начале координат, а точки  $S, F$  имеют координаты  $(x_s, y_s)$  и  $(x_f, y_f)$ , радиус резервуара  $R$ . Тогда ствол, расположенный внутри угла  $BEC$ , способен охлаждать дугу  $SF$  резервуара. Точка  $E$  имеет координаты:

$$\begin{aligned} x_e &= R^2 \frac{y_f - y_s}{x_s y_f - x_f y_s}; \\ y_e &= R^2 \frac{x_s - x_f}{x_s y_f - x_f y_s}; \\ r_e &= \sqrt{x_e^2 + y_e^2} = \\ &= \frac{R^2}{x_s y_f - x_f y_s} \sqrt{(y_f - y_s)^2 + (x_s - x_f)^2}. \end{aligned}$$

Пусть  $L_{\min}$  — минимально допустимое расстояние от ствола до резервуара, определяемое из соображений безопасности,  $L_{\max}$  — максимально допустимое, соответствующее дальности действия струи. Тогда ствол должен быть расположен внутри сектора  $ABCD$  (см. рис. 1), где  $OA = OD = L_{\min} + R$ ;  $OB = OC = L_{\max} + R$ . В зависимости от значений  $L_{\min}$  и  $L_{\max}$  сектор  $ABCD$  может вырождаться в сектор  $BEC$  (при  $L_{\min} \leq r_e - R \leq L_{\max}$ ) или в пустое множество ( $L_{\max} \leq r_e - R$ ). Последнее будет означать, что поставленная боевая задача  $(r, s, f)$  для данного ствола не выполнима. В дальнейшем

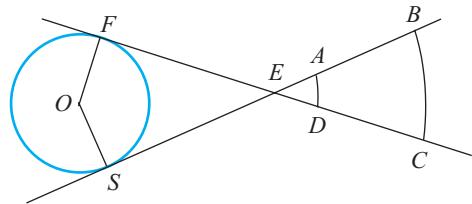


Рис. 1. Возможное расположение ствола для охлаждения дуги  $SF$  периметра резервуара

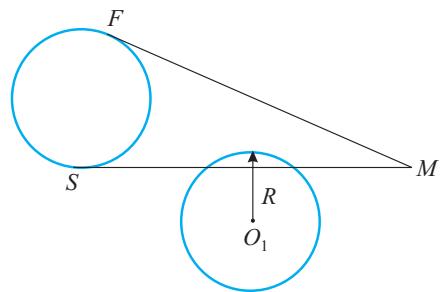


Рис. 2. Невозможность охлаждения дуги  $SF$  стволом из точки  $M$  при наличии препятствий

будем говорить о секторе  $ABCD$ , понимая, что возможны описанные случаи вырождения.

Может оказаться, что из некоторых точек области  $ABCD$  охлаждение дуги  $SF$  невозможно ввиду наличия препятствий между стволом и охлаждаемым резервуаром. Таким препятствием может служить, например, другой резервуар в резервуарной группе (рис. 2).

Для проверки того, что другой резервуар с серединой основания в точке  $O_1$  и радиусом  $R$  не препятствует охлаждению дуги  $SF$  стволом из точки  $M$ , достаточно убедиться, что расстояние от точки  $O_1$  до отрезков  $MS$  и  $MF$  не превосходит  $R$ , и точка  $O_1$  не лежит внутри треугольника  $SMF$  (см. рис. 2). При численной реализации алгоритма критерием того, что точка  $O_1$  не принадлежит треугольнику  $SMF$ , будет неравенство площадей следующих треугольников:  $S_{SMF} < S_{O_1SM} + S_{O_1SF} + S_{O_1MF}$ .

Ввиду сложности аналитического описания области, в которой тепловой поток не превосходит критического значения  $q_{kp}$ , поступим следующим образом. Покроем сектор  $ABCD$  (см. рис. 1) криволинейной сеткой:

$$\begin{cases} x = x_e + (u - r_e) \cos v, \\ y = y_e + (u - r_e) \sin v, \\ \max(r_e, L_{\min} + R) \leq u \leq \max(r_e, L_{\max} + R), \\ \varphi_1 \leq v \leq \varphi_2, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  выбраны так, чтобы описывать угол  $BEC$ :

$$\varphi_1 = \arctg \frac{y_e - y_f}{x_e - x_f}; \quad \varphi_2 = \arctg \frac{y_e - y_s}{x_e - x_s}.$$

Если область  $ABCD$  не пуста, то задаваясь шагом  $\Delta i$  и  $\Delta v$ , в каждом узле  $M(x, y)$  сетки (2) проверим выполнение следующих условий:

- между точкой  $M$  и охлаждаемой дугой  $SF$  нет препятствий (см. рис. 2);
- тепловой поток  $q$  в точке  $M$  не превосходит критического значения  $q_{kp}$ ;
- в точке  $M$  технически возможно размещение ствола (например, достают ли туда рукавные линии);
- размещение ствола в точке  $M$  не противоречит нормам безопасности.

Если существует хотя бы одна точка, в которой все перечисленные условия соблюдаются, то боевая задача  $(r, s, f)$  для данного ствола выполнима. Для расположения ствола можно порекомендовать ту точку  $M$ , в которой тепловой поток минимален. Если же не существует ни одной такой точки, то боевая задача  $(r, s, f)$  данным стволом не выполнима.

Следуя приведенной выше схеме, можно определить, выполнима ли боевая задача  $(r_k, s_k, f_k)$  стволом  $k$ , т.е. проверить, входит ли она во множество всех допустимых боевых задач  $\Omega$ . Однако вопрос об оптимальном выборе боевых задач для стволов остается открытым. Рассмотрим возможный вариант его решения.

Ввиду того, что область допустимых решений  $\Omega$  задачи

$$H \rightarrow \min_{\Omega} \quad (3)$$

не является выпуклой (более того, она или ее граница могут быть многосвязной), а целевая функция также может не быть выпуклой, то применение к условию (3) таких классических методов оптимизации, как метод покоординатного спуска, дифференциальный алгоритм и др., оказывается невозможным. Множество допустимых решений хотя и дискретно, но велико: полный перебор потребует рассмотрения порядка  $(Nn/2)^{2m}$  вариантов.

Для решения задачи (3) предположим сначала, что времена  $t_k$  развертывания стволов различны, т.е. в соотношении (1) имеет место строгое неравенство:

$$t_1 < t_2 < \dots < t_m < \tau. \quad (4)$$

Обозначим через  $Z_k$  множество всех боевых задач для  $k$ -го ствола. Рассмотрим введение первого ствола. Для каждой выполнимой задачи  $(r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}) \in Z_1$  вычислим значение функции цели  $H_i(\tau)$ . Дополнительно учтем также возможность бездействия данного ствола  $O_1$ , и для нее также вычислим функцию цели. Из полученных вариантов действий сформируем множество  $\Omega_1 \subset Z_1$ , со-

стоящее из тех боевых задач, для которых значение функции цели минимально:

$$\Omega_1 = \{(r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}): H_i(\tau) = H_{\min}(\tau)\}.$$

Это множество непустое, так как если ни одна из задач не выполнима, то оно будет содержать элемент  $O_1$  — бездействие ствола.

Теперь переходим к выбору задачи для второго ствола. Для каждого элемента  $\omega_1 \in \Omega_1$  рассматриваем возможные боевые задачи  $Z_2$  для второго ствола, в том числе и вариант его неиспользования  $O_2$ , и вычисляем значения целевой функции  $H_i(\tau)$ . Из полученных вариантов сформируем множество  $\Omega_2 \subset \Omega_1 \times Z_2$ , состоящее из тех боевых задач, для которых значение целевой функции минимально:

$$\Omega_2 = \{(r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}, r_2^{(i)}, s_2^{(i)}, f_2^{(i)}): H_i(\tau) = H_{\min}(\tau)\}.$$

После этого переходим к выбору задачи для следующего ствола. Продолжаем этот процесс до тех пор, пока не дойдем до последнего ствола и не сформируем для него множество  $\Omega_m = \Omega_{m-1} \times Z_m$ :

$$\Omega_m = \{(r_1^{(i)}, s_1^{(i)}, f_1^{(i)}, r_2^{(i)}, s_2^{(i)}, f_2^{(i)}, \dots, r_m^{(i)}, s_m^{(i)}, f_m^{(i)}): H_i(\tau) = H_{\min}(\tau)\}.$$

Из полученного множества вариантов  $\Omega_m$ , равносценных в смысле целевой функции (3), остается выбрать тот вариант распределения боевых задач между стволами, который задействует минимальное количество стволов.

Рассмотрим теперь ситуацию, когда в соотношении (4) неравенства нестрогие (некоторые стволы имеют одинаковое время развертывания):

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m < \tau.$$

Выделим отдельные группы, для которых время развертывания одинаково. Далее возможны два пути в зависимости от вычислительных возможностей. Во-первых, можно рассмотреть все возможные боевые задачи для группы стволов, вводимых одновременно. Это потребует полного перебора всех вариантов, количество которых показательно растет с увеличением размеров группы. Другой подход состоит в том, чтобы, как и ранее, последовательно вводить стволы. Такой подход может и не обеспечить наилучшего решения задачи (3), но существенно сократит количество перебираемых вариантов и, следовательно, время решения задачи.

Предложенный алгоритм не гарантирует нахождения глобального минимума задачи (3). Возможны ситуации, когда существует лучшее решение, чем

даваемое алгоритмом. Но даже в этом случае результат является достаточно хорошим и может послужить отправной точкой для принятия окончательного решения при выработке плана локализации пожара.

Особенностью данного алгоритма является то, что наложение большего количества ограничений сужает множество рассматриваемых вариантов  $\Omega_k$  и повышает скорость расчетов. Напротив, наличие многих равнозначных вариантов существенно замедляет расчеты.

**Детерминированная постановка задачи оптимизации.** Детерминированная модель каскадного распространения пожара основывается на моделировании нагрева резервуара с нефтепродуктом под действием пожара [1, 3]. Обозначим через  $T_{rk}(t)$  температуру  $k$ -го сегмента охлаждаемого резервуара  $r$  в момент времени  $t$ . Введем функцию

$$H(T) = \begin{cases} 0, & T < T_{kp}, \\ (T - T_{kp})^2, & T \geq T_{kp}, \end{cases}$$

где  $T_{kp}$  — критическая температура. Для горящего резервуара критической будет температура, при которой его стальные конструкции утрачивают прочность, для соседних с ним резервуаров — это температура самовоспламенения нефтепродукта.

Применимально ко всем резервуарам на отрезке времени  $[0, t_0]$ ,  $t_0 > t_m$ , функция цели примет вид:

$$H = \int_0^{t_0} \sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^n H(T_{rj}(t)) dt \rightarrow \min_{\Omega}$$

Функция такого вида означает желание минимально превысить критические значения.

**Стохастическая постановка задачи оптимизации.** В стохастической модели развития пожара [2, 3] рассматривается вероятность достижения критической температуры. Это приводит к другому виду функции цели:

$$H_p = \prod_{r=1}^N \prod_{j=1}^n P(T_{rj} < T_{kp}) \cdot \prod_r P(T_r^{(a)} < T_{kp}) \rightarrow \max_{\Omega}$$

Здесь под вероятностью  $P(T_{rj} < T_{kp})$  понимается вероятность того, что на всем рассматриваемом интервале времени  $(0, t_0)$  температура  $T_{rj}(t)$  ни разу не выйдет за критический уровень  $T_{kp}$ . Функция цели в стохастической постановке максимизирует вероятность того, что температура ни одного из резервуаров не выйдет за критический уровень.

**Пример.** Рассмотрим пожарную ситуацию в резервуарной группе из четырех резервуаров РВС-10000 (диаметром 28,5 м и высотой 18 м) со стационарными крышами, расстояние между которыми составляет 21 м (0,75 их диаметра) (рис. 3).

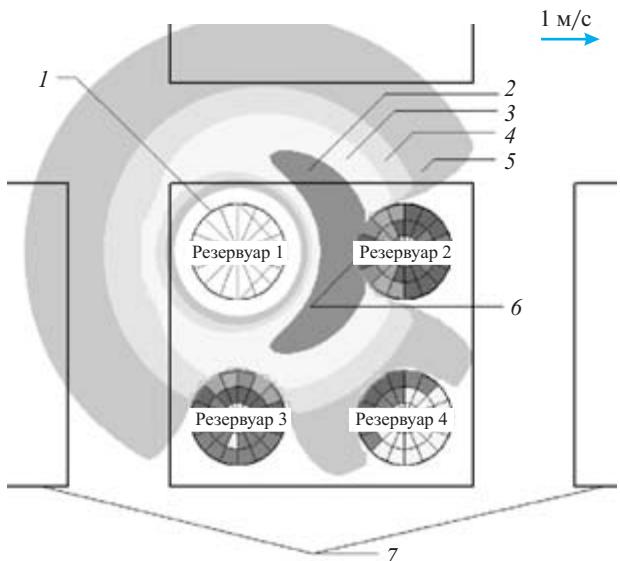


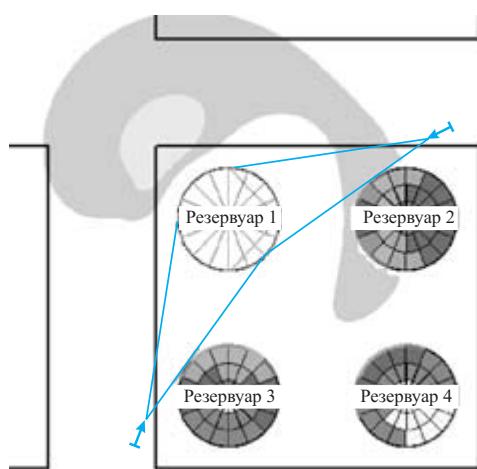
Рис. 3. Пожарная ситуация в резервуарной группе через 10 мин после начала пожара: 1 — горящий резервуар; тепловой поток: 2 —  $q = 10,5\text{--}14,0 \text{ кВт}/\text{м}^2$ ; 3 —  $q = 8,5\text{--}10,5 \text{ кВт}/\text{м}^2$ ; 4 —  $q = 7,0\text{--}8,5 \text{ кВт}/\text{м}^2$ ; 5 —  $q = 4,2\text{--}7,0 \text{ кВт}/\text{м}^2$ ; 6 — часть крыши и стены резервуара, нагревающихся до температуры самовоспламенения; 7 — соседние резервуарные группы

Расстояние между стенкой резервуара и обвалованием — 6 м. Будем предполагать, что резервуары заполнены бензином наполовину и горят один из них. Ветер со скоростью 1 м/с дует в направлении резервуара, соседнего с горящим (см. рис. 3). Температуру самовоспламенения паров бензина полагаем равной 300°C, температуру окружающего воздуха — 20°C. В распоряжении имеется пять лафетных стволов (расход воды — 16,7 л/с, напор на выходе из насадки — 40 м), два из которых могут быть введены через 2 и 3 мин после начала пожара, а остальные — через 5 мин.

Для прогнозирования каскадного развития пожара будем применять четыре метода: стохастический, детерминированный, “Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках” [5] и экспертный (в качестве экспертов привлекались офицеры пожарных подразделений, занимающихся охраной резервуарных парков нефтепродуктов).

Прежде всего оценим угрозу, создаваемую соседним резервуарам.

1. Стохастический метод. Наибольшей опасности подвергается резервуар 2, в сторону которого наклонено пламя. Вероятность достижения крышей и стенкой температуры самовоспламенения на интервале от 2 до 5 мин возрастает с 0,05 до 0,95, т.е. в течение этого времени может возникнуть факельное горение на дыхательных клапанах. На резервуаре 3 факельное горение может возникнуть в те-



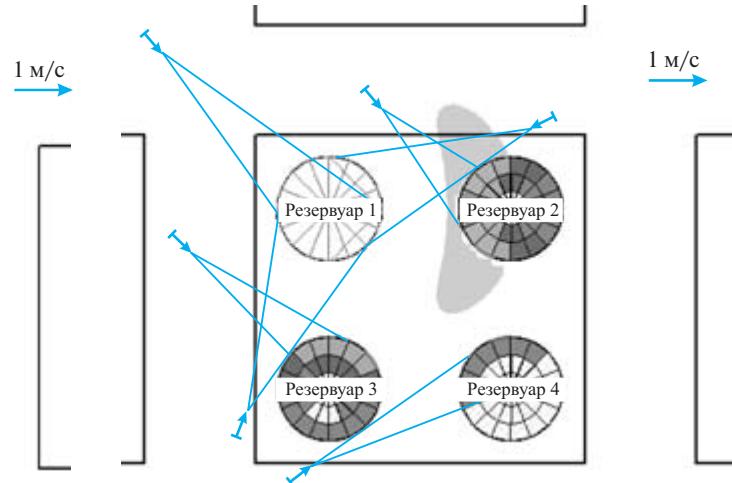
**Рис. 4.** Подача стволов на охлаждение горящего резервуара

чение 3–9 мин. В опасности также находится и резервуар 4: через 10 мин вероятность достижения температуры самовоспламенения составляет 0,05, через 60 мин — 0,95.

2. Детерминированный метод. Для резервуаров 2 и 3 результаты те же, что и для стохастического метода: резервуар 2 достигает температуры в 300°C через 4 мин, резервуар 3 — через 7 мин. Близость результатов со стохастическим методом объясняется тем, что температура резервуаров растет быстро, и случайные пульсации теплового потока не оказывают существенного влияния на процесс нагрева. Резервуар 4 находится вне опасности — максимально достижимая температура составляет около 270°C. Здесь различие между моделями объясняется большим расстоянием между резервуарами ( $1,5D$ ) и, следовательно, меньшей скоростью нагрева. На этом примере видно, что стохастическая модель более точно описывает возникающую ситуацию. Она позволяет учесть имеющуюся неопределенность, показать уровень риска и принять решение о необходимости тех или иных мер.

3. Номограмма из Руководства [5] дает время достижения температуры самовоспламенения в резервуарах 2 и 3 около 20 мин, а для резервуара 4 эта температура недостижима. Такое отличие от первых двух методов вызвано, в первую очередь, тем, что приводимые в Руководстве [5] рекомендации не учитывают различий в тепловом потоке от факелов различных нефтепродуктов. Там также не принят во внимание наклон факела, вызванный ветром.

4. Экспертный метод. Все эксперты указали на то, что опасности подвергаются все резервуары из группы. Поэтому необходимо подавать стволы на защиту всех резервуаров. При этом резервуар 2 под-



**Рис. 5.** Подача стволов на защиту соседних и охлаждение горящего резервуара

вергается наибольшей опасности, а резервуар 4 — наименьшей.

Рассмотрим теперь охлаждение резервуаров.

1. Стохастический метод. Применение изложенного выше алгоритма дает решение, приведенное на рис. 4: первые стволы подаются на охлаждение горящего резервуара со стороны соседних так, чтобы уменьшить тепловой поток от раскаленных стенок к соседним резервуарам. Несмотря на охлаждение, резервуары 2, 3 и 4 по-прежнему остаются в опасности.

Следующие стволы подаются для защиты соседних резервуаров и охлаждения горящего (рис. 5). Теперь все резервуары вне опасности, угрозы каскадного распространения пожара нет, можно готовить пенную атаку.

2–3. Детерминированный метод и Руководство [5]. Первые стволы подаются на охлаждение горящего резервуара (см. рис. 4). Резервуары 2 и 3 по-прежнему остаются в опасности, поэтому следующие стволы подаются на их охлаждение (см. рис. 5, но без охлаждения резервуара 4, так как он находится вне опасности).

4. Экспертный метод. Мнения экспертов разделились: часть из них предпочли подать первый или второй ствол на охлаждение резервуара 2, чтобы снизить риск каскадного распространения пожара. Другие, следуя общим рекомендациям по тушению пожаров в резервуарных парках [4, 5], сначала подавали стволы на охлаждение горящего резервуара (см. рис. 4), а затем на защиту соседних (см. рис. 5).

Применение номограммы из Руководства [5] не учитывает различий в тепловом потоке от факелов различных нефтепродуктов и наклона факела ветром. Как следствие, в ряде случаев время достижения критической температуры оказывается завышенным.

шенным по сравнению с детерминированной моделью, учитывающей перечисленное.

Применение Руководства [5] не дает ответа на вопрос, какая именно часть резервуара нагревается, и решение об охлаждении ложится на руководителя тушения пожара. Экспертный метод показывает, что отклонение факела под действием ветра приводит к неточностям при решении данной задачи экспертом.

Эксперты часто переоценивают угрозу, которую представляет тепловой поток для соседних резервуаров. Стремясь уменьшить риск распространения пожара, они предпочитают охлаждать соседний резервуар в ущерб охлаждению горящего. Для экспертов представляет сложность определение того, какая именно часть резервуара нагревается,

если факел наклонен ветром. Следствием этого может стать недостаточность охлаждения.

**Выходы.** Предложены метод и алгоритм оптимальной расстановки сил и средств для локализации пожара в резервуарном парке, позволяющие минимизировать ущерб от пожара. Указанный метод применим как к детерминированной модели развития пожара, так и к стохастической. Разработанный алгоритм может быть использован на этапе разработки плана пожаротушения для анализа пожарной ситуации, прогнозирования возможности каскадного распространения пожара, выявления первоочередных задач, в частности при недостатке сил и средств, и расстановки стволов для охлаждения резервуаров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник национального автомобильно-дорожного университета: Сб. науч. тр. — Харьков: ХНАДУ, 2005. — Вып. 29. — С. 131–133.
2. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Влияние случайных пульсаций пламени на нагрев резервуара при пожаре // Проблемы пожарной безопасности. — Харьков: Фолио, 2005. — Вып. 18. — С. 3–8.
3. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. — Харьков: АГЗУ, 2006 — 256 с.
4. Иванников В. П., Клюс П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М.: Стройиздат, 1987. — 288 с.
5. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках / ГУГПС МВД России. — М.: ВНИИПО, 1999.

Поступила в редакцию 13.06.07.



Канд. техн. наук, доцент,  
начальник кафедры Академии  
ГПС МЧС России  
**А. В. Подгрушный**



Заместитель начальника кафедры  
Противопожарного института Вьетнама,  
полковник милиции МОБ Вьетнама,  
адъюнкт Академии ГПС МЧС России  
**Ч. Д. Хонг**

УДК 614.841.412

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СПАСАНИЮ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ ПРИ ПОЖАРАХ

По результатам натурных экспериментов по спасанию людей из зданий повышенной этажности и их математической обработки приведены формулы для быстрых расчетов, требуемых при инженерном обосновании принимаемых руководителем тушения пожара решений.

**С**пасение людей на пожарах в зданиях повышенной этажности является главной задачей подразделений пожарной охраны. Чаще всего спасательные работы приходится проводить с использованием автолестниц, коленчатых подъемников, ручных пожарных лестниц и спасательных веревок, предусматривая вывод и вынос людей по лестничным клеткам. Начиная с третьего этажа, сложность и трудоемкость работ возрастает; чем выше здание, тем больше времени требуется для спасения людей с этажей, где есть угроза их здоровью и жизни от воздействия опасных факторов пожара.

Для определения временных параметров спасения людей различными способами в Республике Вьетнам были осуществлены эксперименты на строящихся зданиях повышенной этажности с задымлением этажей и лестничных клеток, но без повышения в них температуры воздуха. В их проведении участвовали отделения пожарной охраны на автонасосах и автоцистернах.

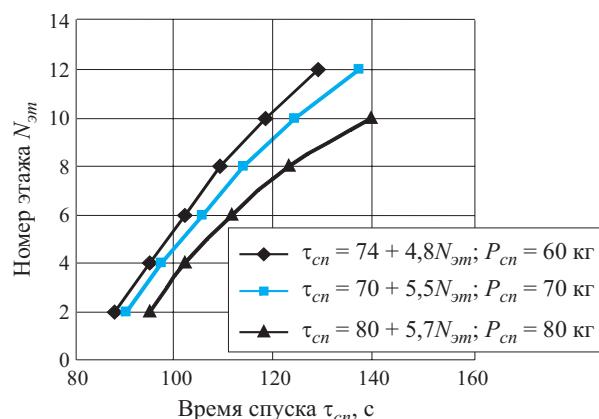
В ходе экспериментов учитывалось влияние следующих факторов:

- возраст, физическое развитие и профессиональная подготовка пожарных;
- вес спасаемых и пожарных;
- вес боевой одежды и пожарно-технического вооружения пожарного;
- работа пожарных в средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) или без них;
- этаж, с которого проводится спасение людей;
- дальность переноса пожарными на руках спасаемого по коридору и лестничной клетке;
- время развертывания автолестниц и коленчатых подъемников на определенный этаж здания и др.

Наиболее простым и доступным в использовании средством спасания является спасательная веревка длиной 25, 50 или 60 м. Исследования по определению времени спасения человека с этажа здания через оконный проем путем спуска на землю с помощью спасательной веревки проводились группой из трех пожарных. Основные результаты экспериментов приведены на рисунке.

Данные экспериментов можно использовать для расчетов времени эвакуации людей из этажей здания, при разработке планов пожаротушения, замыслов пожарно-тактических и командно-штабных учений, решении пожарно-тактических задач.

Проведены эксперименты по выносу спасаемого пожарными по лестничной клетке с различных этажей здания.



Время спуска с этажей здания одного человека при помощи спасательной веревки тремя пожарными ( $P_{cn}$  — вес спасаемого)

**Таблица 1.** Время спасения людей с этажей здания способом выноса на руках по лестничной клетке

Вес спасающего, кг	Этаж						
	2	3	4	5	6	7	8
	Время спасения, с						
60	38	77	109	166	198	248	302
65	40	79	112	171	208	265	320
70	42	87	115	180	215	279	338
75	43	92	125	188	237	292	344
80	46	98	129	192	242	298	358
85	50	107	138	202	249	306	367

Полный цикл спасания одного человека двумя пожарными способом выноса на руках состоит из:

- движения пожарных по лестничной клетке и горизонтальному участку пути в коридоре здания к месту непосредственного выполнения операций по спасанию;
- отыскания спасаемого;
- движения пожарных со спасаемым в обратном направлении до выхода на первый этаж (vestibule) здания.

Затем такие же исследования осуществлялись пожарными, но с помощью специально изготовленных компактных раскладных полуносилок.

Результаты экспериментов приведены в табл. 1 и 2.

Для практического применения полученных результатов экспериментов по спасанию пострадавшего способом выноса на руках можно воспользоваться зависимостью, полученной для спасаемого весом 75 кг:

$$\tau_{cn}^6 = 24,5N_{\text{эм}} - 8, \text{ с.} \quad (1)$$

Скорости движения пожарных при спасании людей по лестничной клетке способом выноса на руках приведены в табл. 2.

На практике часто приходится проводить спасательные работы в задымленных помещениях и лестничных клетках. Распространение дыма на этажи здания происходит через шахту лифта, за счет разрежения воздуха на первых этажах и подсоса туда дымовых газов. Дым проникает и через неплотности в каналах, предназначенных для про-

кладки трубопроводов, электрических проводов и кабелей.

Время и скорость подъема пожарных по лестничной клетке на этажи здания представлены в табл. 3.

Время движения пожарных до 14-го этажа вверх по лестничной клетке можно рассчитать по формуле, с:

- без СИЗОД

$$\tau_{\text{од}}^6 = 18,2N_{\text{эм}} - 7,9; \quad (2)$$

- в СИЗОД

$$\tau_{\text{од}}^6 = 23N_{\text{эм}} - 6. \quad (3)$$

Эксперименты по подъему в лестничной клетке и спуску звеньев ГДЗС в изолирующих аппаратах и без них проведены с группой спасаемых на высотном здании в летнее время. Пожарные были в боевой одежде с необходимым снаряжением и противогазами, их возраст составлял от 23 до 45 лет. Эксперименты осуществлялись в утренние часы, спустя 2–3 часа после заступления пожарных в дежурные караулы пожарных частей.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что больше всего времени затрачивается на спуск группы спасаемых по незадымленной лестничной клетке с этажей здания, при включении звена ГДЗС в аппараты.

Изменение времени подъема и спуска с этажей здания можно определить по формулам (до 28-го этажа), с:

- подъем на этажи здания звена ГДЗС без включения в СИЗОД:

$$\tau_{\text{под}} = 50 + 18N_{\text{эм}}; \quad (4)$$

- подъем на этажи здания звеном ГДЗС с включением в СИЗОД:

$$\tau_{\text{под}} = 35,3N_{\text{эм}} + 88; \quad (5)$$

- спуск по лестничной клетке одного спасаемого звеном ГДЗС без включения в СИЗОД:

$$\tau_{\text{спк}} = 58N_{\text{эм}} + 45; \quad (6)$$

- спуск звеном ГДЗС в противогазах группы людей по лестничной клетке вниз:

$$\tau_{\text{спк}} = 20N_{\text{эм}} + 27. \quad (7)$$

**Таблица 2.** Скорости движения пожарных при спасении людей по лестничной клетке способом выноса на руках

Способ переноски спасаемого	Скорость движения пожарных, м/мин (без СИЗОД)			
	без спасаемого		со спасаемым	
	вверх по лестничной клетке	по горизонтальному участку	по горизонтальному участку	вниз по лестничной клетке
На руках двумя пожарными	24–27	36,8–40	32,4–35,1	16,8–20,4
На носилках двумя пожарными	24–27	36,8–40	33,2–35,9	17,7–21,3

**Таблица 3.** Время и скорость подъема пожарных по лестничной клетке

Номер этажа	Время подъема пожарных, с		Скорость подъема пожарных на этажи, м/с	
	без СИЗОД	в СИЗОД	без СИЗОД	в СИЗОД
2	28	39	0,26	0,19
4	62	79	0,21	0,18
6	108	123	0,16	0,17
8	147	158	0,19	0,21
10	168	228	0,35	0,22
12	225	277	0,18	0,18
14	251	—	0,28	—
<b>Среднее</b>		<b>0,23</b>	<b>0,19</b>	

Время цикла спасания с определенного этажа составит, с:

$$\tau_u = \tau_{nod} + \tau_{omk} + \tau_{cpk}, \quad (8)$$

где  $\tau_{omk}$  — время отыскания спасаемого, с.

Общее время спасания нескольких человек с этажей по лестничной клетке определяется по формулам, с:

- без включения пожарных в СИЗОД:

$$\tau_{cn}^{общ} = \frac{N_{cn}}{N_{\vartheta_6}} [(50 + 18N_{\vartheta_m}) + (58N_{\vartheta_m} + 45)]; \quad (9)$$

- с включением пожарных в СИЗОД:

$$\tau_{cn}^{общ} = \frac{N_{cn}}{N_{\vartheta_6}} [(35,3N_{\vartheta_m} + 88) + (20N_{\vartheta_m} + 27)], \quad (10)$$

где  $N_{cn}$  — количество спасаемых на этаже, чел.;

$N_{\vartheta_6}$  — количество звеньев ГДЗС, принимающих участие в спасении людей.

Автолестницы и коленчатые подъемники применяются в пожарной охране как для тушения по-

жаров в этажах высотных зданий, так и при проведении спасательных операций.

Общая продолжительность спасания людей с помощью автолестницы АЛ-30 определяется по формуле, с:

$$\tau_{cn}^{\text{АЛ-30}} = 247 + 21N_{\vartheta_m}^c N_{cn}, \quad (11)$$

где  $N_{\vartheta_m}^c$  — номер этажа, с которого надо проводить спасение людей;

$N_{cn}$  — количество людей, которых требуется спасти с этажа здания, чел.

Для автолестниц с длиной колен 45 м и более среднее время спасания людей с любого этажа здания в сопровождении пожарного будет, с:

$$\tau_{cn}^{\text{АЛ}} = 306 + 21N_{\vartheta_m} N_{cn}. \quad (12)$$

Среднее время спасания людей с любых этажей здания коленчатым подъемником можно определить по формуле, с:

$$\tau_{cn}^{\text{АКП}} = 203 + 64,2N_{\vartheta_m}^c N_{cn}. \quad (13)$$

Время спасания людей по спасательному рукаву с этажей здания, с:

- одного человека:

$$\tau_{cn}^{cp} = 30 + 0,8N_{\vartheta_m}^c; \quad (14)$$

- группы людей (3–4 чел.):

$$\tau_{cn}^{cp} = 36 + 0,8N_{\vartheta_m}^c. \quad (15)$$

Таким образом, по представленным расчетным формулам можно определить продолжительность осуществления спасательных операций на пожарах в зданиях повышенной этажности и требующееся количество сил и средств для их проведения.

## ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 7.32–81. Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления.
- Харисов Г. Х. Методические рекомендации к решению задач и выполнению контрольных заданий по аварийно-спасательным работам. — М.: Академия ГПС МВД России, 2001. — 45 с.
- Розенблит М. С., Житарев Н. С., Крылов Г. В. Практикум по планированию эксперимента. — М.: МЛТИ, 1983. — 74 с.
- Эльясберг П. Е. Измерительная информация. Сколько нужно, как ее обрабатывать? — М.: Наука, 1983. — 208 с.
- Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешности результатов измерений. — Л.: Энергоиздат, 1985. — 247 с.

Поступила в редакцию 01.06.07.



Канд. техн. наук, докторант  
Академии ГПС МЧС России  
**Ф. В. Демёхин**



Канд. техн. наук, доцент  
Академии ГПС МЧС России  
**Т. А. Буцынская**



Инженер, аспирант  
Академии ГПС МЧС России  
**С. Ю. Журавлёв**

УДК 614.842.4

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Применение традиционных средств обнаружения пожара на значительном числе промышленных объектов, в частности на предприятиях нефтепереработки, в резервуарных парках хранения нефтепродуктов, на сложных технологических установках неэффективно по ряду технико-экономических показателей. В статье рассмотрено разработанное авторами устройство, осуществляющее автоматическое обнаружения пожара по нескольким признакам на основе анализа получаемого с видеокамеры сигнала. В процессе его функционирования на промышленном объекте обеспечиваются одновременно обнаружение и идентификация таких признаков пожара, как пламя, дым, обрушение строительных конструкций, с учетом различных условий освещенности и внешних искажений.

**В** последние годы в технической литературе значительное внимание уделяется вопросам разработки и применения устройств (программно-аппаратных комплексов, систем) видеодетекции, которые используются для видеомониторинга, обнаружения, идентификации и распознавания объектов и ситуаций, а также обнаружения пожара [1]. Проведенный авторами анализ [2] позволил выявить основные направления разработки таких устройств, которые обнаруживают пожар, но в то же время обладают недостатками, снижающими эффективность их применения.

Примером может служить устройство обнаружения пожара по видеоизображению [3], которое состоит из видеокамеры, блока обработки информации, интерфейса передачи извещений. Принцип его действия основан на анализе изображений по структурной и частотной составляющим видеопоследовательности. Таким образом, оно фактически является детектором активности с программной поддержкой, позволяющей обнаружить пожар. Ограничениями данного устройства являются малый размер контролируемой зоны, узкий динамический диапазон, отсутствие защиты от искажающих факторов окружающей среды, что повышает вероятность ложных срабатываний и не допускает использование данного устройства в качестве пожарного извещателя на промышленных объектах.

В устройстве обнаружения пламени по видеоизображению [4], которое включает в себя видеокамеру, цифровой сигнальный процессор и вспомогательные устройства, принцип работы состоит в выделении на видеоизображении участков, похожих на пламя, и анализ их постоянной и переменной составляющих по специальному алгоритму. Его недостатком является сложность идентификации пламени, которое находится на значительном удалении от камеры, кроме этого высока вероятность ложного срабатывания на открытых технологических площадках, что ограничивает применение рассматриваемого устройства в системе пожарной сигнализации.

В устройстве для обнаружения пожара путем “сравнения образов” [5] осуществляется выделение на анализируемом видеоизображении участков, похожих на пламя, сравнением выделенных фрагментов с базой данных возможных источников искажения, а также моделей реального пламени как по форме, так и по частоте их изменения (флуктуациям). Применение данного устройства ограничивают конечное количество хранимых идентификаторов пламени и элементов возмущающих оптических источников, высокие аппаратные требования, сложность программирования для конкретного объекта защиты.

Известно устройство обнаружения дыма по видеоизображению [6], включающее в себя видеопро-

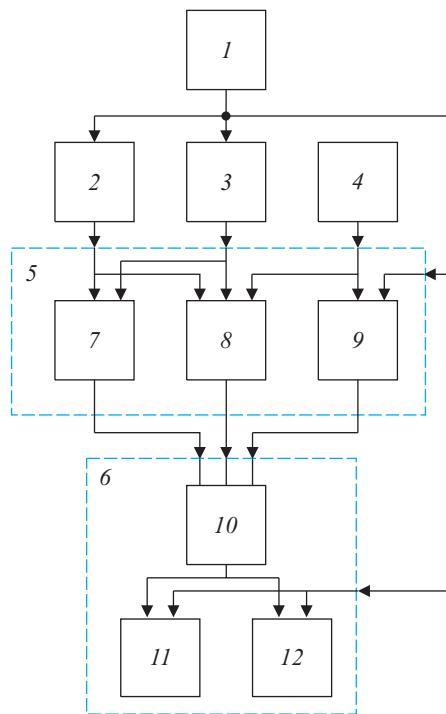
цессор и видеонакопитель. Принцип его действия основан на выделении групп пикселей на основе анализа яркостной составляющей и траектории их движения. Применение данного устройства в качестве пожарного извещателя ограничено из-за того, что преобладающим фактором в начальный момент пожара не всегда является дым, кроме того, достаточно высока вероятность ложного срабатывания вследствие конвективных потоков нагретого воздуха от металлических стенок технологических установок и аппаратов в летнее время.

В устройстве обнаружения дыма и тумана [7] проводится анализ отдельных участков (сегментов) по всему видеоизображению в целом. Определение наличия дыма, тумана или тени производится сравнением свойств видеопоследовательности обнаруженных объектов со свойствами опорных изображений, которые генерируются при идеальных условиях окружающей среды. Недостатками такого устройства являются низкая надежность действия в условиях тумана, а также большая инерционность, что снижает достоверность обнаружения пожара.

Наиболее интересной из рассмотренных является система автоматического распознавания объектов и ситуаций [8], содержащая видеокамеру, вычислительное устройство с памятью, подвижную видеокамеру, блок распознавания цели (обнаружения пожара или другой тревожной ситуации) и терминал наблюдения. Выход видеокамеры подключен к входу терминала наблюдения через вычислительное устройство, подвижную видеокамеру, блок распознавания цели. Вычислительное устройство соединено с блоком распознавания цели. Однако в данном устройстве не может быть обеспечена высокая достоверность функционирования в сложных помеховых условиях промышленного объекта, что не позволяет использовать его в системах автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения.

Повышение достоверности обнаружения пожара и устранение недостатков, присущих существующим разработкам, могут быть достигнуты при одновременном обнаружении и идентификация таких признаков пожара, как пламя, дым, обрушение строительных конструкций, с учетом различных условий освещенности и внешних искажений. Структурная схема предлагаемого устройства представлена на рисунке.

Устройство работает следующим образом. Цифровой сигнал с видеокамеры 1 поступает на фильтр искажений 2, блок распознавания искажений 3, детектор активности 9 и модуль принятия решений 6. В фильтре 2 происходит очистка сигнала от искажений, вызванных кратковременным появлением в зоне обнаружения летящих целей, вспышек молний и т.п. В блоке 3 происходит распознава-



Устройство для обнаружения пожара на промышленных объектах: 1 — видеокамера; 2 — фильтр искажений; 3 — блок распознавания искажений; 4 — блок анализа фона; 5 — блок обнаружения пожара; 6 — модуль принятия решений; 7 — детектор пламени; 8 — детектор дыма; 9 — детектор активности; 10 — блок логический; 11 — блок формирования извещений; 12 — блок архивации

ние искажений, вызванных условиями окружающей среды и погодными условиями, не связанными с пожаром, такими как атмосферные осадки, ветер, туман и т.п. Распознанные искажения учитываются в алгоритме работы детекторов пламени 7 и дыма 8. В детекторе активности 9 происходит обнаружение движения в заданных областях.

Блок анализа фона 4 содержит фотоэлемент для определения условий освещенности объекта и выбора режима “день/ночь”. Информация с блока 4 учитывается при детекции видеосигнала в блоках 8 и 9.

После фильтра искажений 2 цифровой видеосигнал поступает на детекторы пламени 7 и дыма 8. В блоке 7 происходит анализ всего кадра видеоизображения и выделение на нем светлых зон (сегментов), похожих на пламя. Цветовая интенсивность и переменная составляющая выделенных светлых сегментов анализируются на видеоряде (например, из 8 кадров). При наличии определенного уровня яркости по каждому цветному каналу и флуктуации переменной составляющей определенной частоты осуществляется выдача сигнала о срабатывании детектора пламени 7.

В блоке 8 происходит анализ всего кадра видеоЗображения и выделение на нем темных зон (сегментов), похожих на дым. Векторная скоростная составляющая перемещения темных сегментов анализируется в блоке 8 на видеоряде (например, из 8 кадров). При наличии определенного вектора и скорости переменной составляющей выдается сигнал о срабатывании видеодетектора дыма 8.

В блоке 9 происходит детекция движения на заранее запрограммированных участках изображения. Сигнал о срабатывании детектора активности 9 выдается при наличии интенсивности движения заданного уровня.

На модуль принятия решений 6 поступают сигналы о срабатывании детекторов пламени 7, дыма 8 и активности 9, а также цифровой сигнал с видеокамеры 1 для передачи на пульт наблюдения и архивации (на рисунке не показан). Блоком логическим 10 в соответствии с заданным алгоритмом принимается решение о пожаре (например, при срабатывании двух и более детекторов за определенный промежу-

ток времени или срабатывании одного из детекторов с определенной периодичностью). Затем сигнал о пожаре поступает в блок архивации 12, где по команде с блока 10 он записывается в энергонезависимой памяти и в блок формирования извещений 11. Блок 11 формирует извещения о пожаре и преобразует видеоЗображение в пакетную форму для передачи по команде в сигнальную линию.

Разработанное устройство предназначено, главным образом, для использования в системах пожарной сигнализации и пожаротушения для защиты крупных промышленных объектов, в том числе резервуарных парков хранения нефтепродуктов, сложных и крупногабаритных технологических установок на предприятиях нефтепереработки, где применение известных средств обнаружения неэффективно. Оно может быть установлено в труднодоступных местах, в местах без постоянного пребывания людей, а также в обычных условиях для повышения достоверности и уменьшения времени обнаружения пожара.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Членов А. Н., Фомин В. И., Буцынская Т. А., Демёхин Ф. В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. — 175 с.
2. Членов А. Н., Демёхин Ф. В. Анализ методов обнаружения пожара по видеоЗображению // Вестник Академии Государственной противопожарной службы. — 2006. — № 5. — С. 85–93.
3. Pat. № 01/67415 A1, WO. Bosch R. Imaging fire detector. Publish. 13.08.2001.
4. Pat. № 6184792, U.S. Privalov G., Privalov D. Early fire detection method and apparatus. Publish. 06.02.2001.
5. Pat. № 5926280, U.S. Yamagishi T., Kishimoto M. Fire detection system utilizing relationship of correspondence with regard to image overlap. Publish. 20.08.1999.
6. Pat. № 02/054364 A2, WO. Simens bulding tecnologies. Publish. 11.07.2002.
7. Pat. № 6037976, U.S. Wixon E., Rocky H. Method and apparatus for determining ambient conditions from an image sequence, such as fog, haze or shadows. Publish. 14.03.2000.
8. Пат. № 2268497 C2 G08B 25/00, РФ. Система и способ автоматизированного видеонаблюдения и распознавания объектов и ситуаций. Опубл. 01.2006.

Поступила в редакцию 02.07.07.



Адъюнкт  
Академии ГПС МЧС России  
**С. П. Храмцов**

УДК 614.841

## ВОДА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Согласно принятому решению страны Евросоюза к 2010 г. должны будут перейти на экологически безопасные огнетушащие вещества. Найти более экологически чистое, доступное, восполняемое и дешевое огнетушащее вещество, чем вода, практически невозможно.

**Г**орение — это главный и основной процесс на пожаре. Тушение же пожара (с физической точки зрения) всегда сводится к прекращению процесса горения во всех его видах и формах.

Лучшим, наиболее эффективным способом обеспечения пожаровзрывобезопасности является создание таких условий, при которых процесс не-произвольного горения вообще не может возникнуть. Об этом думали люди еще в глубокой древности. Однако если пожар все-таки возникал, приходилось его тушить, что стимулировало внедрение первых мер противопожарной защиты.

Древний человек достаточно рано понял роль различных средств, преграждающих путь к огню, и первой он применил воду, постепенно приходя к пониманию необходимости создания и хранения ее запасов для борьбы с огнем [1].

Вода — наиболее распространенное средство тушения пожаров. Источниками водоснабжения могут быть поверхностные (моря, озера, реки, пруды и т.д.) и подземные (грунтовые, родниковые, артезианские и т.д.) воды [2].

Физические свойства воды имеют важное значение при тушении пожаров. Плотность  $\rho$  и кинематическая вязкость  $v$  воды играют большую роль при ее подаче к месту назначения. При давлении 15 атм с увеличением температуры от 5 до 195°C плотность воды уменьшается в 1,15 раза (рис. 1), а коэффициент кинематической вязкости снижается почти на порядок, т.е. в 9,55 раза (рис. 2). Эти свойства являются аргументом в пользу использования для целей пожаротушения воды с более высокой температурой, так как это позволяет существенно уменьшить гидравлические потери подачи ее к месту пожара по рукавам.

Основным огнетушащим свойством воды является охлаждение. Горючее вещество охлаждается ниже температуры воспламенения, причем тепло, отнятое из очага пожара, поглощается водой и отводится с водяным паром.

Влияние указанных факторов в значительной мере зависит от режима горения, вида горючего материала и способа подачи воды.

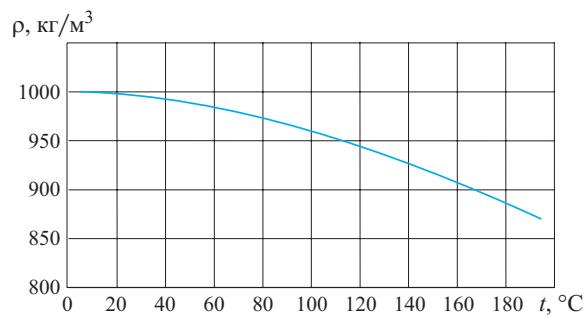


Рис. 1. Зависимость плотности воды  $\rho$  от температуры  $t$

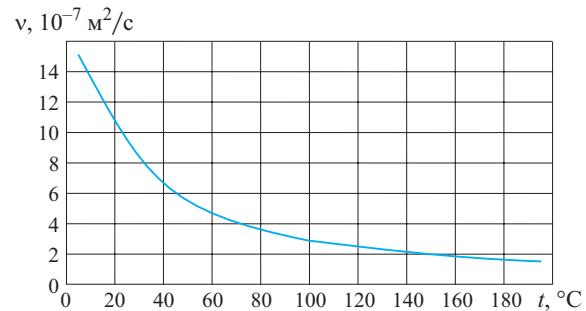


Рис. 2. Зависимость кинематической вязкости воды  $v$  от температуры  $t$

Причиной хорошего теплопоглощения воды являются высокие значения удельной теплоемкости и теплоты парообразования [2]. Например, удельная теплоемкость некоторых веществ при 20°C составляет, Дж/(кг·К): воды — 4200, воздуха — 1010, алюминия — 880, меди — 385, свинца — 130 [2, 3].

Такая теплоемкость и, следовательно, упомянутые энергоемкие процессы существуют во всем диапазоне температур, при которых вода находится в жидким состоянии. Она исчезает только в паре, т.е. эта аномалия является свойством именно жидкого состояния воды. Естественно, что при тушении пожара необходимо учитывать данную аномалию воды и стремиться максимально использовать большую ее теплоемкость. Именно поэтому принципиально важным становится не только вопрос о размере капель воды, которые подаются на тушение пожара, но и температура этих капель. Попав в пламя, капля воды должна успеть нагреться до температуры 100°C и испариться до осаждения.

Сказанное связано с тем, что удельная теплоемкость воды аномальна не только по своему значению. Характер температурного изменения удельной теплоемкости своеобразен: она снижается по мере увеличения температуры в интервале от 0 до 36,79°C, а при дальнейшем увеличении температуры — возрастает (рис. 3). Минимальное значение удельной теплоемкости воды обнаружено при температуре 36,79°C [4]. Следовательно энергетически выгодно тушить пожары водой с температурой капель более 36,79°C.

При тушении пожаров водой в закрытых помещениях при испарении ее объем увеличивается в 1700 раз, благодаря чему кислород воздуха вытесняется из зоны очага пожара водяным паром. Для того чтобы перевести воду из жидкого состояния в парообразное или из твердого в жидкое, необходимо затратить большое количество энергии, требуемое, как это следует из гипотез [3, 5], для разрушения ее межмолекулярной структуры. Эту энергию называют скрытой теплотой испарения или таяния. Чтобы превратить лед в воду, необходимо затратить 332,43 Дж на 1 г, а для превращения такого же количества воды в пар требуется 2257,5 Дж. При тушении тлеющих пожаров эффект “удушения” не является определяющим [2], поскольку при тлении, например, древесины, текстиля и т.д., в молекуле горючего вещества содержится необходимый для горения кислород.

При пламенном горении из-за непродолжительности контакта воды с горящим веществом водяного пара образуется недостаточно, поэтому он не влияет на процесс горения.

Способность растворять разнообразные вещества — еще одно важное свойство воды. В воде рас-

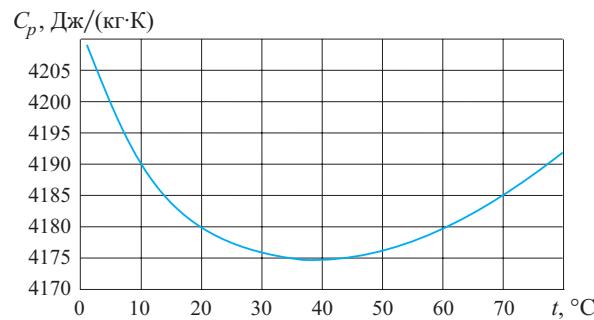


Рис. 3. Зависимость удельной теплоемкости воды  $C_p$  от температуры  $t$

творяются некоторые горючие вещества, которые теряют свою способность гореть [2, 3]. Ее растворяющему действию в той или иной мере подвластны и твердые тела, и жидкости, и газы. Постоянно соприкасаясь со всевозможными веществами, вода фактически всегда представляет собой раствор различного, зачастую очень сложного состава. Даже из свежевыпавшей дождевой воды можно выделить различные минеральные и органические вещества, растворенные в ней (до нескольких десятков миллиграммов на литр).

Обычная вода на самом деле является загадочной жидкостью, поскольку многие ее свойства (плотность, сжимаемость, теплоемкость) являются аномальными — не похожими на свойства большинства других жидкостей [3, 5–7]. Причина этого заключается в особой структуре воды, обусловленной водородными связями между ее молекулами, которая изменяется в зависимости от температуры или давления.

Нельзя абсолютно точно оценить тушащее действие воды, так как условия протекания пожара и методы его тушения различны. Одним из способов повышения эффективности пожаротушения водой является использование тонкораспыленной воды.

Распыленность струй подразделяют на тонкую дисперсность — размер капель 10–100 мкм; среднюю — 100–1000 мкм, грубую — 1000–6000 мкм [2]. Средние распыленные струи подразделяют на тонко-средние и грубо-средние.

Имеется ряд теоретических и практических исследований по определению наиболее эффективных размеров капель [2]. Радуш теоретически вычислил размер капель для тушения горючих жидкостей с температурой кипения более 80°C, исходя из теплопотерь и теплоты образования водяной капли. Полученный таким образом оптимальный диаметр капли составил 0,35 мм. Это значение было подтверждено практически при тушении горящей жидкости распыленной струей.

Фольке провел опыты по тушению сплошной струей штабеля древесины, размещенного на весах.

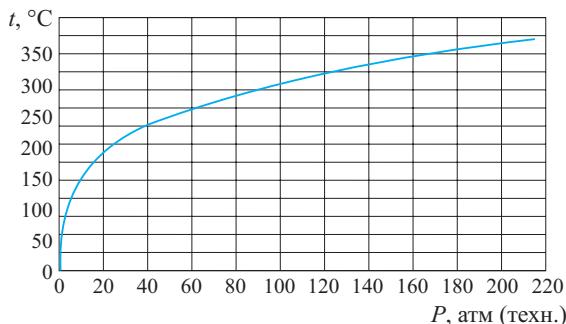


Рис. 4. Линия насыщения воды

Потери массы штабеля определялись как функция времени горения и тушения при различном количестве используемой воды. На основании опытов сделан вывод, что скорости распространения пламени и горения горючего материала постоянны. При скорости горения 1 г/с (~1 ккал/с) пожар был потушен потоком воды с таким расходом, что теплота испарения составляла лишь 0,085 ккал/с. Оказалось, что отведенное количество тепла было меньше, чем количество тепла, выделяемого при горении [2].

В последнее время все более широкое применение находит вода аэрозольного распыления со средним диаметром капель порядка 50 мкм. Вода в таком состоянии занимает как бы промежуточное положение между жидкостью и газом и сочетает в себе преимущества как жидкостных, так и газовых средств тушения. Аэрозольное состояние воды достигается путем выброса либо перегретой воды, либо газонасыщенной (раствор  $\text{CO}_2$  в воде) под давлением через специальные распылители [8].

В Германии тонкораспыленную воду (водяной туман) с диаметром капель более 10 мкм для тушения пожара получают с помощью пожарных стволов при повышенном давлении насосов. Применение водяного тумана в Германии различными пожарными службами много лет приводит к положительным результатам.

В последние десятилетия опыт пожаротушения водяным туманом обрели многие страны Европы. Водяной туман формируется при давлении насоса около 40 атм. Для этого необходимы пожарный насос со ступенью высокого давления, производящий 40 атм, и специальные пожарные стволы-пистолеты, являющиеся с недавних пор достоянием техники [9].

Установки пожаротушения, в которых используется водяной туман, широко используются за рубежом и в России. Вода в таких установках подается с интенсивностью орошения не менее 0,04–0,06 л/(с·м<sup>2</sup>) [10]. Однако для получения водяного тумана в зарубежных и отечественных установках используются либо большое давление (до 300 атм)

и химически подготовленная вода, очищенная от механических примесей и растворимых в воде солей, либо специально сконструированные распылители. Кроме того, распылители установок высокого давления имеют очень малые площади сечений проточных каналов и потому склонны к засорению или замерзанию в зимнее время.

Благодаря многолетним исследованиям, проведенным учеными Академии ГПС, доказано, что возможно и другое, принципиально новое техническое решение — улучшение огнетушащих свойств воды за счет ее температурной активации. При его реализации удается одновременно добиться как улучшения текучести воды без использования добавок, так и уменьшения размера ее капель без увеличения давления насосов и использования пожарных стволов со сложными, дорогостоящими и профилированными насадками с минимальной площадью сечений проточных каналов [11].

Сибирские ученые Ф. А. Летников и Т. В. Кашеева нагревали обессоленную воду до 200, 300, 400, 500°C при давлениях 1, 88, 390 и 800 атм соответственно. После возвращения к обычным условиям такая вода находилась некоторое время в особым, так называемом метастабильном состоянии, проявляющемся в повышенной растворяющей способности карбонатов, сульфатов, силикатов и других соединений, в способности длительно удерживать в своем составе аномальные количества растворенного вещества и значительно повышать кислотность. Такая вода названа активированной, а сам процесс — температурной активацией [12].

На сегодняшний день температурно-активированную воду в пожарных подразделенияхрабатывают с помощью установки получения горячей, перегретой и температурно-активированной воды (УПВ). Вода под давлением до 125 атм подается насосом в теплообменник, в котором перегревается до 300°C под большим давлением, после теплообменника поступает в рукавную линию к стволу, на выходе из него мгновенно вскипает и превращается в туман, состоящий из пара и мелкодисперсных капель порядка 50 мкм. От УПВ до выхода из ствола вода находится в метастабильном состоянии — ниже линии насыщения (рис. 4).

После выхода из ствола вода также находится в метастабильном состоянии (выше линии насыщения). В таком состоянии она не только эффективно тушит пожар, но и резко снижает температуру пламени и осаждает дым. Струи температурно-активированной воды (рис. 5) могут быть использованы для тушения практически всех видов горючих веществ, которые не вступают в химическую реакцию с водой с выделением большого количества тепла или горючих газов. Наиболее эффективно

струи температурно-активированной воды тушат пожары в замкнутых объемах, так как образуют большой объем пара и водяного тумана, которые эффективно осаждают дым и пары ядовитых веществ, а также вытесняют воздух и, тем самым, уменьшают процентное содержание кислорода в зоне горения [11].

Одна из основных проблем, которая стоит сейчас перед наукой, — это повышение эффективности применения воды при тушении пожаров. Большинство современных технических средств используют непосредственно на тушение очага возгорания только 5–10% поданной на тушение пожара воды, фактически 90–95% поданной воды можно считать излишне пролитой. Часто ущерб от излишне пролитой воды больше, чем от самого пожара [11].

Все перечисленные аргументы позволяют утверждать, что температурно-активированная



Рис. 5. Струя температурно-активированной воды

вода может быть успешно использована при тушении пожаров подразделениями ГПС МЧС России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буцынская Т. А., Быстров С. Ю., Косухин Д. А. и др. История пожарной охраны: Курс лекций. — М.: Академия ГПС МВД России, 2001. — 151 с.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении / Пер. с нем. — М.: Стройиздат, 1975. — 240 с.
3. Зацепина Г. Н. Свойства и структура воды. 2-е изд., перераб. — М.: Изд-во МГУ, 1974. — С. 118.
4. Александров А. А., Григорьев Б. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. — М.: Изд-во МЭИ, 1999. — 168 с.
5. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1975. — 280 с.
6. Летников Ф. А., Кащеева Т. В., Минцис А. Ш. Активированная вода. — Новосибирск: Наука, 1976.
7. Титков В. И. Четвертая стихия. Из истории борьбы с огнем. — М.: Изд-во Объединенной редакции МВД России, 1998. — 192 с.
8. Роенко В. В. Анализ требований к комплексу средств пожаротушения автодорожных тоннелей // Мир и безопасность. — 2004. — № 6. — С. 26–29.
9. Alfons Rempe. Loschmittelwasser. — Stuttgart, Berlin, 1997. — 161 s.
10. НПБ 88–2001\*. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
11. Тетерин И. М. Температурно-активированная вода — новая парадигма развития техники пожаротушения // Средства спасения: журнал-каталог. — 2005. — С. 44.
12. Кульский Л. А., Даль В. В., Ленчина Л. Г. Вода знакомая и загадочная. — К.: Рядянська школа, 1982. — 53 с.

Поступила в редакцию 19.06.07.



Д-р техн. наук, профессор,  
начальник кафедры  
Академии ГПС МЧС РФ  
**С. С. Воевода**



Канд. техн. наук, заместитель  
начальника Санкт-Петербургского  
Университета ГПС МЧС РФ  
**В. П. Крейтор**



Адъюнкт Санкт-Петербургского  
Университета ГПС МЧС РФ  
**В. В. Бузок**

УДК 614.84.664

## АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В ЗАДЫМЛЕННОЙ НАСОСНОЙ ПЕНОЙ ВЫСОКОЙ КРАТНОСТИ

Предложен метод математического моделирования процесса тушения нефтепродуктов пеной высокой кратности. Приводятся количественные соотношения, которые характеризуют различные процессы, происходящие в пено в момент накопления и разрушения. Приведены зависимости, описывающие влияние коллоидно-химических характеристик высокократной пены на ее структурные и количественные параметры.

Независимо от вида используемого генератора пены высокой кратности в первые секунды его работы в задымленном помещении пена практически не образуется. Чем лучше конструкция генератора и состав пенообразователя, тем меньше период индукции, в течение которого наличие дыма препятствует образованию пены. В период индукции задымленный воздух проходит через пеногенератор, и в результате действия распыленной водной струи происходит частичная коагуляция частиц дыма, которые вместе с водой оседают на пол помещения. В итоге наблюдается снижение концентрации дыма в помещении.

Поэтому тушение пожара в задымленной насосной пеной высокой кратности происходит в два этапа: на первом пена практически не образуется и через пеногенератор проходят продукты горения, которые скопились в насосной в результате горения пролива нефтепродукта.

После снижения концентрации дыма в воздухе насосной до максимально допустимой начинается процесс образования пены, но из-за предварительного воздействия дыма на материал генератора образование пены происходит с меньшей интенсивностью, чем на свежем воздухе.

По опыту зарубежных компаний принимается, что период индукции не должен превышать 30 с.

Количество генераторов пены определяют из двух вариантов расчета:

- возможности пропустить за 30 с половину объема воздуха в помещении насосной;

- обеспечить процесс тушения пламени в насосной за время не более 60 с.

Принимается вариант расчета с большим количеством генераторов пены.

Например, при площади пола насосной  $S_0 = 300 \text{ м}^2$  и высоте  $H = 6,0 \text{ м}$  вентилируемый объем помещения  $V_w$  составит:

$$V_w = 1800/2 = 900 \text{ м}^3.$$

Производительность одного генератора пены  $q_g = 5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Количество генераторов, обеспечивающих время индукции  $\tau_J = 30 \text{ с}$ , может быть определено по формуле:

$$N_g = V_w / 30q_g = 900 / (30 \cdot 5,0) = 6. \quad (1)$$

Исходя из условий вентиляции, необходимо использовать шесть генераторов с производительностью  $q_g = 5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Время тушения пожара в насосной оценивают по уравнению, полученному на основе модельных представлений о механизме тушения пожара пеной высокой кратности. При этом учитывается разрушение пены горящим топливом и дымом, оставшимся в воздухе насосной. Кроме того, при невысокой интенсивности подачи пены принимается во внимание процесс самопроизвольного разрушения пены из-за возросшего капиллярного давления в пенных каналах. Формула для оценки времени ту-

шения пожара в насосной получена в следующем виде:

$$-\tau = \frac{S_0}{3U_s S_r + bS_0} \ln \left[ 1 - \frac{(S_0 b + 3H U_s S_r) H}{q K_f - U_f n_f S_0} \right], \quad (2)$$

где  $S_0$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$q$  — секундный расход пенообразующего раствора, л/с;

$U_s$  — удельная скорость разрушения пены от воздействия дыма, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);

$U_f$  — удельная скорость разрушения пены пламенем нефтепродукта, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);

$S_f$  — суммарная площадь поверхности пенных пузырьков в помещении, м<sup>2</sup>,  $S_f = 3S_0/r$ ;

$r$  — средний радиус пенных пузырьков, м;

$S_0$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$H$  — высота помещения, м;

$b$  — коэффициент пропорциональности, 1/с;

$n_f$  — коэффициент формы пузырьков пены,

$n_f < 1$ , принимается равным 0,25;

$S_r = S_0/r$ .

Расчетное уравнение, представленное в виде формулы (2), позволяет определить величину критической интенсивности  $J_k$  подачи пенообразующего раствора через генераторы на единицу площади помещения насосной, при которой время тушения стремится к бесконечно большой величине:

$$1 = \frac{(S_0 b + 3H U_s S_r) H}{q K_f - U_f n_f S_0}$$

или

$$J_k = \frac{(S_0 b + 3H U_s S_r) H + U_f n_f S_0}{K_f S_0}. \quad (3)$$

Исходные параметры и константы для решения уравнения (2), полученного на основе модельных

**Таблица 1.** Исходные параметры и константы для решения уравнения (2)

$S_0$ , м <sup>2</sup>	$H$ , м	$U_s$ , м/с	$U_f$ , м/с	$b$ , 1/с	$r$ , м	$S_r$ , м	$n_f$
300	6	0,001	0,08	0,001	0,01	30000	0,25

**Таблица 2.** Расчет времени тушения

$q_g$ , кг/с	$N_g$	$q$ , кг/с	$K_f$	$\tau_m$ , с
2,0	4	8	400	184
3,0	4	12	400	118
6,0	4	24	400	57
8,0	4	32	400	42
10,0	4	40	400	34

представлений о механизме тушения пожара пеной высокой кратности, приведены в табл. 1. Расчетные величины времени тушения представлены в табл. 2.

### Модель процесса тушения пожара в помещении пеной высокой кратности

Разработка модели процесса тушения пожаров пенами связана с необходимостью выявления взаимосвязи огнетушащей эффективности пены с ее физическими параметрами и свойствами нефтепродукта.

Разрушение пены происходит во всем объеме пенного слоя от воздействия частиц дыма, находящихся в пузырьках пены, а также в поверхностном слое от воздействия гидростатического давления, которое развивается в пенных каналах:

$$q K_f d\tau = U_f n_f S_0 d\tau + U_s S_f d\tau + U_k S_0 d\tau + S_0 dh, \quad (4)$$

где  $U_k$  — скорость разрушения пены в поверхностном слое, м/с;

$h$  — средняя высота слоя пены, м.

Значение  $U_s$  определяется из соотношения:

$$U_s = \frac{m}{\rho S \tau}; \quad (5)$$

где  $m$  — масса пены, разрушенной от воздействия дыма, кг;

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

$S$  — площадь поверхности разрушенной пены, м<sup>2</sup>;

$\tau$  — время разрушения, с.

$$d\tau = \frac{S_0 dh}{q K_f - U_f n_f S_0 - U_s S_f - U_k S_0}, \quad (6)$$

$$U_k = bh; \quad b = U_k/h = 0,5/3,$$

где  $b$  [1/с] и  $c$  — коэффициенты пропорциональности;

$n < 1$ , обычно принимается равным 0,25;

$$S_f = 4\pi r^2 n_{\text{пузырьков}} = 4\pi r^2 \frac{V_{\text{пены}}}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3V_{\text{пены}}}{r}, \quad (7)$$

где  $n_{\text{пузырьков}}$  — количество пенных пузырьков на площади поверхности пены в помещении;

$V_{\text{пены}}$  — объем пены, м<sup>3</sup>.

Уравнение (4) примет следующий вид:

$$d\tau = \frac{S_0}{q K_f - U_f n_f S_0 - U_s S_f - U_k S_0} dh. \quad (8)$$

После решения дифференциального уравнения (8) и ряда математических преобразований и упрощений получена формула:

$$q d\tau = U_s \frac{3V_{\text{пены}}}{r} d\tau + bhS_0 d\tau + S_0 dh. \quad (9)$$

Преобразуя уравнение (9), получим:

$$d\tau = \frac{S_0}{q - U_s \frac{3V_{\text{пены}}}{r} - \beta h S_0} dh. \quad (10)$$

Так как  $V_{\text{пены}} = S_0 h$ , получим:

$$d\tau = \frac{S_0}{q - \left( U_s \frac{3}{r} + \beta \right) S_0 h} dh. \quad (11)$$

Проинтегрировав дифференциальное уравнение (11) в начальных условиях  $\tau = 0$ ,  $h = 0$ , получим:

$$\tau = \frac{1}{U_s \frac{3}{r} + \beta} \ln \left[ 1 - \frac{\left( U_s \frac{3}{r} + \beta \right) S_0 h}{q} \right], \quad (12)$$

где  $\tau$  — время тушения.

Из выражения (12) путем преобразований можно выразить зависимость заполнения помещения от времени в явном виде:

$$h = \frac{q}{S_0 \left( U_s \frac{3}{r} + \beta \right)} \left( 1 - e^{-\tau \left( U_s \frac{3}{r} + \beta \right)} \right). \quad (13)$$

Численное значение коэффициента  $\beta$  определяется предельным значением капиллярного давления, которое пена способна выдерживать. Величина предельного капиллярного давления пенных каналов определяется природой пенообразователя и структурой пены.

Численное значение коэффициента  $\beta$  составляет:

$$\beta = \frac{U_{\Delta P}}{\Delta P_{\sigma \max}}, \quad (14)$$

где  $U_{\Delta P}$  — скорость роста капиллярного давления в пенных каналах на начальном этапе, кПа/с;

$\Delta P_{\sigma \max}$  — предельное значение капиллярного давления, кПа.

Анализируя полученную математическую модель, можно сделать вывод о том, на каком пенообразователе полученная пена будет наиболее устойчивой.

### Тушение пожара заполнением помещения пеной высокой кратности

Процесс тушения пожара высокократной пеной осуществляется заполнением помещения пеной. Эта модель отличается меньшими значениями удельной скорости разрушения пены от пламени и контакта нагреветого нефтепродукта по сравнению со скоростью гидростатического разрушения пены.

Для тушения пожара в помещении насосной может использоваться различное количество пеногенераторов. На рис. 1 представлен пеногенератор, устойчиво работающий в задымленной атмосфере замкнутого помещения.

Увеличение высоты слоя пены ведет к синхронному росту гидростатического давления в пенных каналах и разрыву пенных пленок. Чем больше высота пенного слоя, тем выше скорость разрушения пены.

Приняв, что удельная скорость гидростатического разрушения пены  $U_h$  пропорциональна высоте  $h$ , получаем:

$$U_h = \beta_h h, \quad (15)$$

где  $\beta_h$  — коэффициент пропорциональности.

Запишем уравнение материального баланса пены. Определенная часть пены разрушается в поверхностном слое:

$$q d\tau = S_0 dh + S_0 h u_h d\tau. \quad (16)$$

Так как

$$\begin{aligned} & U_h = \beta_h h, \quad q/S = J, \\ & \text{то} \\ & J dt = dh + \beta_h h^2 dt. \end{aligned} \quad (17)$$



Рис. 1. Заполнение помещения высокократной пеной, полученной на генераторе, устойчивом к действию продуктов сгорания

Интегрируя дифференциальное уравнение, вытекающее из формулы (16), в пределах от  $\tau = 0$  до  $\tau = \tau_m$  и от  $h = 0$  до  $h = H$ , получим:

$$\tau_m = \frac{1}{\beta_h} \frac{1}{2\sqrt{J/\beta}} \ln \frac{\sqrt{J/\beta} + H}{\sqrt{J/\beta} - H}, \quad (18)$$

где  $H$  — высота помещения;

$\beta$  — коэффициент пропорциональности.

Величина  $\tau \rightarrow \infty$  при

$$\sqrt{J/\beta} = H,$$

поэтому критическая интенсивность определяется следующим образом:

$$J = H^2/\beta \equiv J_{kp}. \quad (19)$$

Из формулы (18) можно определить высоту слоя пены в любой момент времени:

$$h = \left[ \frac{J(e^{\tau/\tau_0} - 1)}{\beta(e^{\tau/\tau_0} - 1)} \right]^{1/2}, \quad (20)$$

где

$$\tau_0 = \beta^{1/2}/2\beta Q^{1/2}. \quad (21)$$

Численное значение коэффициента  $\beta_h$  определяется предельным значением капиллярного давления, которое способна выдерживать пена. Вариант применения высокократной пены показан на рис. 2.



Рис. 2. Иллюстрация применения высокократной пены для тушения пожара в помещении

Величина предельного капиллярного давления пенных каналов определяется природой пенообразователя и структурой пены.

Анионные пенообразователи выдерживают большее капиллярное давление, чем неионогенные.

Наибольшей устойчивостью обладают пены, полученные из композиционных пенообразователей, которые содержат добавки, повышающие поверхностную вязкость пенных пленок.

Поступила в редакцию 13.07.07.



Издательство ООО “Издательство “Пожнаука”  
109052, г. Москва, ул. Смирновская, д. 1А  
(495) 918-0311, 918-0360, 918-1890  
e-mail: 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) II-го полугодия 2007 г.	420
Полугодовая подписка на комплект 2007 г.	1260
Годовая подписка на комплект 2007 г.	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. <b>Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения:</b>	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. <b>Моделирование пожаров и взрывов.</b> — М.: Пожнauка, 2000. — 492 с.	360
Л. П. Пилигин. <b>Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций.</b> — М.: Пожнauка, 2000. — 224 с.	240
В. М. Ройтман. <b>Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий.</b> — М.: Пожнauка, 2001. — 382 с.	300
А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин. <b>Пожарная опасность строительных материалов:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнauка, 2006. — 232 с.	200
В. И. Горшков. <b>Тушение пламени горючих жидкостей.</b> — М.: Пожнauка, 2007. — 268 с.	350

Наименование	Цена руб./экз.
Н. А. Тычино. <b>Огнезащита и биозащита строительной древесины посредством капиллярной пропитки.</b> — М.: Пожнаука, 2004. — 107 с.	175
В. Н. Баранин. <b>Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками.</b> — М.: Пожнаука, 2004. — 332 с.	120
А. Ф. Шароварников, В. Л. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шароварников. <b>Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 438 с.	350
А. Ф. Шароварников, С. А. Шароварников. <b>Пенообразователи и пены для тушения пожаров.</b> <b>Состав. Свойства. Применение:</b> Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 336 с.	250
М. М. Любимов, С. В. Собурь. <b>Пожарная и охранно-пожарная сигнализация:</b> Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 292 с.; 2-й т. — 308 с.	420
В. А. Грачёв, Д. В. Поповский. <b>Газодымозащитная служба:</b> Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 379 с	<span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">НОВИНКА</span> 380
В. А. Грачёв, С. В. Собурь. <b>Средства и способы защиты органов дыхания:</b> Справочник. — М.: Пожнаука, 2007. — 224 с.	<span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">НОВИНКА</span> 330
В. В. Теребнёв. <b>Справочник руководителя тушения пожара.</b> <b>Тактические возможности пожарных подразделений:</b> Справочник. — М.: Пожнаука, 2004.	150
В. С. Родин, О. Н. Найденков, С. В. Собурь. <b>Справочник инспектора пожарного надзора:</b> Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 400 с.; 2-й т. — 368 с.	350
<b>СЕРИЯ “СОВРЕМЕННАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ”</b>	
А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. <b>Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 320 с.	300
А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. <b>Средства огнезащиты:</b> Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с.	200
<b>СЕРИЯ “ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ”</b>	
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. И. Думилин. <b>Жилые и общественные здания и сооружения:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 352 с.	320
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный. <b>Промышленные здания и сооружения:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 370 с.	320
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный. <b>Здания повышенной этажности:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 240 с.	300
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.	<span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">НОВИНКА</span> 350

Наименование	Цена руб./экз.
В. Б. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, О. Ю. Сабинин. <b>Леса, торфяники, лесосклады:</b> Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 358 с.	<b>НОВИНКА</b> 400
В. Б. 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.	<b>НОВИНКА</b> 320
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
Электронная версия учебного пособия по курсу “Пожарная безопасность объекта”, 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>	1000
<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.</b> <b>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

Наименование	Цена руб./экз.
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>	
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв. <b>Справочник спасателя-пожарного.</b> — М., 2006. — 528 с.	<span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">НОВИНКА</span> 380
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, К. В. Шадрин. <b>Основы пожарного дела.</b> — М., 2006. — 328 с., илл.	<span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">НОВИНКА</span> 380
В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв. <b>Управление силами и средствами на пожаре:</b> Учебное пособие / Под ред. Е. А. Мешалкина. — М., 2006. — 264 с.	330
В. В. Теребнёв, В. А. Грачёв, А. В. Теребнёв. <b>Организация службы начальника караула пожарной части:</b> Учебное пособие. — М., 2007. — 216 с.	330
В. В. Теребнёв, В. А. Грачёв, А. В. Подрушный, А. В. Теребнёв. <b>Пожарно-строевая подготовка:</b> Учебное пособие. — М., 2004 — 344 с., илл.	
<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

Наименование	Цена руб./экз.
<b>НОВЫЕ КНИГИ</b>	
<b>А. Я. Корольченко.</b> <b>Процессы горения и взрыва:</b> Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 266 с.	
Изложены современные представления о закономерностях процессов возникновения горения, распространения пламени и прекращения горения веществ, находящихся в газообразном, жидком 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.	400
Описаны показатели, характеризующие пожаровзрывобезопасность 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”.	
<b>В. В. Теребнёв, Н. И. Ульянов, В. А. Грачёв.</b> <b>Пожарная техника:</b> Учебное пособие в 2-х т. — М., 2007. — Т. 1. “Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение”. — 328 с.; Т. 2. “Пожарные машины. Устройство и применение”. — 328 с.	
В книгах приведены основные технические характеристики, устройство и применение насосов, огнетушителей, насосных установок, пожарных рукавов и стволов, рукавной арматуры, ручных пожарных лестниц, ручного и механизированного инструмента, боевой одежды и снаряжения пожарных, средств защиты органов дыхания и зрения, средств спасания. Рассмотрены возможные неисправности ПТВ, их причины и способы устранения.	500
В томе 2 рассмотрены различные виды пожарных машин, их устройство и применение при тушении пожаров.	
Книга предназначена для специалистов, занимающихся проектированием, изготовлением и эксплуатацией пожарных машин, их постановкой на различные объекты, а также для практических работников, занимающихся пожаротушением. Книга будет полезна курсантам и слушателям учебных заведений пожарно-технического профиля.	
<b>В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный, В. А. Грачёв.</b> <b>Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре:</b> Учебное пособие. — М., 2006. — 304 с.	
В книге изложены вопросы организации тактической подготовки должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре, изучения района выезда, проведения пожарно-тактических занятий, пожарно-тактических учений, групповых упражнений (деловых игр), использования в тактической подготовке активных методов обучения, а также изучения пожаров и разработки планов пожаротушения.	330
Каждый раздел поясняется план-конспектом или решением конкретной пожарно-тактической задачи. Рассмотрены вопросы психологической подготовки.	
Книга предназначена для начальствующего состава пожарной охраны, а также для слушателей и курсантов пожарно-технических учебных заведений.	
<b>Методические рекомендации по пожарно-строевой подготовке.</b> — М., 2007. — 200 с.	
Методические рекомендации по пожарно-строевой подготовке являются пособием по организации, проведению занятий и обучению личного состава подразделений пожарной охраны правилам (приемам) работы с пожарно-техническим вооружением, пожарным оборудованием, ручным пожарным инструментом, пожарными автомобилями, пожарными спасательными устройствами, средствами индивидуальной защиты пожарных.	200

Наименование	Цена руб./экз.
Методические рекомендации предназначены для личного состава подразделений пожарной охраны, пожарно-технических научно-исследовательских учреждений и пожарно-технических учебных заведений, специальных подразделений пожарной охраны. Использование рекомендаций при обучении личного состава подразделений пожарной охраны осуществляется с учетом особенностей организации службы, регламентируемых законодательством РФ, нормативными правовыми актами субъектов РФ, а также ведомственными нормативными правовыми актами.	
О. С. Ефремова. <b>Организация безопасной эксплуатации зданий и сооружений.</b> — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 184 с.	90
В данном издании собраны нормативные документы и рекомендации по организации эксплуатации и обслуживанию зданий и сооружений, проведению планово-предупредительных ремонтов, осмотров, технических проверок. Информация будет полезна для руководителей организаций и служб охраны труда.	
С. П. Карапулин. <b>Экономика безопасного труда.</b> — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 192 с.	95
В настоящем издании излагаются основные вопросы экономики безопасного труда. Описывается теория приемлемого риска, приводятся оценка и анализ опасностей в сфере труда на примере субъекта РФ, основные составляющие элементы социальной и экономической эффективности мероприятий по охране труда, рассматриваются вопросы планирования, финансирования, налогового и бухгалтерского учета в сфере охраны труда, а также формы и методы расчетов социального и экономического эффектов от реализации трудоохраных мероприятий.	
Книга предназначена для руководителей, экономистов, бухгалтеров, специалистов по охране труда, профсоюзных работников, а также студентов высших учебных заведений очной формы обучения по направлениям подготовки (специальностям) 060800 (080502) "Экономика и управление на предприятии", 061000 (080504), 061100 (080507) "Менеджмент организаций", 656500 (280100) "Безопасность жизнедеятельности", 330100 (280101) "Безопасность жизнедеятельности в техносфере", 330500 (280102) "Безопасность технологических процессов и производств", слушателей факультетов повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров и широкого круга заинтересованных читателей.	

### **ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ**

Д. А. Корольченко.  
**Огнетушители. Практическое применение:** Учебное пособие. —  
М.: Пожнauка, 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)	<b>ВНИМАНИЮ ЗАКАЗЧИКОВ!</b> <u>Электронные версии высылаются по электронной почте!</u>
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), [vasillkova@gmail.com](mailto:vasillkova@gmail.com), [evasilkova@newmail.ru](mailto:evasilkova@newmail.ru)*

*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-технической 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**

**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., 1А  
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 30.07.07.

Формат 60×84 1/8. Тираж 10000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

# **ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА**

на журнал **пожаровзрыво-  
БЕЗОПАСНОСТЬ**

## **Карточка учета сведений о подписанке**

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 директор — Конопельченко 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 "Эльстайл", ООО "Урал-Прес

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА

на журнал

# **БЕЗОПАСНОСТЬ**

*пожаровзрыво-*

**купон '2007**

Издание	Цена подписки на полугодие, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоймость подписки, руб.
Комплект: журнал "Пожаровзрывбезопасность" + приложение "Пожарная безопасность в строительстве". Полугодовая подписка			
Один комплект	1 260 420		

- 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.

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам  
(495) 918-03-60, 918-03-11, 918-18-90 (многоканальный)**

ПОДПИСКА

через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы")  
через агентство "АПР", индекс 83647

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН / КПП)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКТО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Телефон по юридическому адресу	
Фактический адрес	
<b>ПОЧТОВЫЙ АДРЕС</b>	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	



**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