

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

7'2010

Пожарная безопасность зданий и сооружений в контексте действия "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" и "Технического регламента о безопасности зданий и сооружений"

Моделирование системы распознавания утечек пожароопасных, вредных и токсичных веществ в закрытых помещениях

Исследование огнетушащей эффективности белорусских твердотельных картриджей-смачивателей



Особенности оценки стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара

Проблемы снижения теплопотерь и обеспечение пожарной безопасности конструкций тепловой изоляции

Анализ исследований пожарной опасности водорода при нормальных условиях

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 19 • № 7 • 2010 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

Информационное письмо о VI Международной конференции "Полимерные материалы пониженной горючести", 14–18 марта 2011 г., ВоГТУ, г. Вологда, Россия

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Васюков Г. В., Кожин П. А. Анализ исследований пожарной опасности водорода при нормальных условиях

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Белых А. Ф., Фахрисламов Р. З. Проблемы снижения теплопотерь и обеспечение пожарной безопасности конструкций тепловой изоляции

Ройтман В. М., Приступок Д. Н. Особенности оценки стойкости зданий и сооружений из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ватагин В. С., Жуков В. П., Барочкин Е. В., Власюк А. А. Моделирование системы распознавания утечек пожароопасных, вредных и токсичных веществ в закрытых помещениях

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Коробко В. Б., Глуховенко Ю. М. Пожарная безопасность зданий и сооружений в контексте действия двух федеральных законов: "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" и "Технического регламента о безопасности зданий и сооружений"

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Котов С. Г., Круль Л. П., Навроцкий О. Д., Емельянов В. К. Исследование огнетушащей эффективности белорусских твердотельных картриджей-смачивателей для тушения пожаров

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Information Letter about VI International Conference "Low Combustibility Polymeric Materials", 14–18 March 2011, VoSTU, Vologda, Russia

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

4 Vasjukov G. V., Kozhin P. A. Analysis of Researches of Hydrogen Fire Hazard in Normal Conditions

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

22 Belykh A. F., Fahrislamov R. Z. Problems of Heat Loss Decreasing and Ensuring of Fire Safety of Heat Insulation Constructions

29 Rojtman V. M., Pristupok D. N. Features of the Estimation of Buildings and Constructions Resistance from Reinforced Concrete Designs at the Combined Hazardous Effects with Fire Participation

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

39 Vatagin V. S., Zhukov V. P., Barochkin E. V., Vlasjuk A. A. Modeling of Recognition System of Leaks Fire-Dangerous, Harmful and Toxic Substances in the Closed Premises

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

43 Korobko V. B., Glukhovenko Yu. M. Fire Safety of Buildings and Constructions in a Context of Two Federal Laws: "Technical Enactment about Fire Safety Requirements" and "Technical Enactment about Safety of Buildings and Constructions"

FIRE EXTINGUISHING

58 Kотов С. Г., Круль Л. П., Навроцкий О. Д., Емельянов В. К. Research Work on Fire Extinguishment Efficiency Determination of Belarusian Solid State Cartridges with Penetrating Agent for Fire Fighting

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

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

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

Российская академия наук
Министерство образования и науки
Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
Правительство Вологодской области
Отделение химии и наук о материалах РАН
Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России
Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России
Московский государственный строительный университет
Вологодский государственный технический университет

14–18 марта 2011 г. проводит VI Международную конференцию “ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ”

Место проведения: г. Вологда, ВоГТУ, ул. Ленина, д. 15

Программный комитет:

Председатель:

Берлин А. А. Академик РАН, директор ИХФ РАН

Сопредседатель:

Соколов Л. И. Профессор, ректор ВоГТУ

Заместители председателя:

Халтуринский Н. А. Профессор, ИХФ РАН
Алешков М. В. Заместитель начальника
Академии ГПС МЧС России
по научной работе

Организационный комитет:

Аскадский А. А. Профессор, ИНЭОС РАН
Богданова В. В. Профессор, НИИ ФХП БГУ,
Белоруссия
Гаращенко А. Н. Доцент, ЦНИИСМ
Дебердеев Р. Я. Профессор, КХТИ
Екимовский В. В. Начальник Главного управления
МЧС России по Вологодской обл.
Заиков Г. Е. Профессор, ИБХФ РАН
Корольченко А. Я. Профессор, МГСУ
Копылов Н. П. Начальник ВНИИПО МЧС России
Машляковский Л. Н. Профессор, СПбГТУ
Нелюбин Б. В. Профессор, НПО “ЙодоБром”,
Украина
Новаков И. А. Чл.-кор. РАН, ректор Волг. ГТУ
Панова Л. Г. Профессор, Саратовский ГТУ
Серков Б. Б. Профессор, Академия ГПС МЧС
России
Сиротинкин Н. В. Профессор, СПбГТУ
Тужиков О. И. Профессор, Волг. ГТУ
Чалых А. Е. Зам. академика-секретаря ОХНМ
РАН, профессор

Ученые секретари:

Попова М. Н. ВоГТУ (г. Вологда)
Рудакова Т. А. ИСПМ РАН (г. Москва)
Сивенков А. Б. Академия ГПС МЧС России
(г. Москва)

Программная комиссия:

Председатель:

Халтуринский Н. А. Профессор, ИХФ РАН

Асеева Р. М. Профессор, Академия ГПС МЧС
России

Крупкин В. Г. Д-р физ.-мат. наук, ИХФ РАН
Плеханов А. А. Проректор по научной работе
и инновационному развитию
ВоГТУ
Хомко Е. В. Доцент СПбГТУ

Секретари:

Алымова С. А. НТИ ПЛС ВоГТУ (г. Вологда)
Суворова Г. Н. НТИ ПЛС ВоГТУ (г. Вологда)

Основные направления научной программы

- Термоокислительная деструкция и пиролиз полимеров
- Теория горения полимерных материалов
- Механизм действия и синтез новых высокоеффективных ингибиторов горения полимеров
- Разработка новых полимерных материалов и композиций пониженной горючести
- Экологическая и противопожарная безопасность материалов и конструкций
- Техника и методы оценки пожарной безопасности полимерных материалов
- Анализ чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

Программа конференции включает серию лекций, докладов (пленарных, устных и стендовых), дискуссий и стендовых сессий, подведение итогов заявленного оргкомитетом конкурса на лучшую работу молодых ученых.

Желающим принять участие в работе конференции необходимо не позднее **15 сентября 2010 г.** направить заявку на участие в конференции на электронную почту оргкомитета conf@vstu.edu.ru.

Доклады и копии платежного поручения в адрес оргкомитета должны быть направлены не позднее **15 ноября 2010 г.**

Правила оформления материалов

- Материалы представляются по электронной почте.
- Текст должен быть набран в редакторе Word for Windows (версия 6.0, русская редакция) шрифтом “Times New Roman Cyr” с высотой шрифта 14, межстрочный интервал 1,5.
- Поля страницы: слева – 2,5 см, справа – 1,5 см, сверху и снизу – 2 см.
- Формулы набираются в MS Equation 2.0.
- Рисунки и схемы в тексте должны быть сгруппированы.

Порядок печати

Название статьи по центру без переноса жирным шрифтом строчными буквами, через интервал инициалы и фамилия автора строчными буквами, например: А. А. Петров, через интервал полное название учебного заведения (организации), далее через интервал текст, в конце статьи привести список литературы (не более 2–3 наименований).

За содержание докладов ответственность несут авторы. Программный комитет имеет право отклонить доклад. Все материалы публикуются в авторской редакции.

Оргвзнос за участие в конференции и публикацию одного доклада объемом от 3 до 5 стр. составляет 1200 руб. Для заочных участников, студентов и аспирантов – 450 руб. За каждую дополнительную страницу – 100 руб.

За участие без публикации доклада оргвзнос можно внести при регистрации.

Банковские реквизиты

ИНН 3525027110 КПП 352501001 УФК по Вологодской области (ВоГТУ л/с 03301А38060) р/с 40503810100001000206 ОКАТО 19401000000 ГРКЦ ГУ Банка России по Вологодской области г. Вологда БИК 041909001. Код дохода 07330201010010000130 п.р.1 с обязательным указанием “Образовательные услуги. Участие в конференции” и ф. и. о. участника.

Адрес проведения конференции

160035, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Вологодский государственный технический университет, корпус 5, актовый зал.

Проживание участников конференции будет организовано в гостиницах г. Вологды (стоимость от

600 руб. в двух-, трехместных номерах) и в профилактории университета (стоимость 400 руб.).

Справки по телефонам

В г. Москве

8-495-939-72-95 – Крупкин Владимир Герцович, krupkin@chph.ras.ru

8-916-174-52-44 – Сивенков Андрей Борисович, sivenkov01@mail.ru

8-495-332-58-18 – Рудакова Татьяна Алексеевна

В г. Вологде

8-921-234-49-90 – Попова Марина Николаевна, popovavologda@yandex.ru

8-172-72-14-35 (доб. 341) – Алымова Светлана Александровна, Сорокина Галина Николаевна, conf@vstu.edu.ru

Предварительная программа конференции

14 марта – заезд участников, регистрация.

15 марта – пленарное заседание, работа по секциям, выставка, экскурсия по г. Вологде, ужин.

16 марта – продолжение работы секций, стендовые доклады, посещение Спасо-Прилуцкого монастыря, культурная программа.

17 марта – продолжение работы конференции, подведение итогов заявленных оргкомитетом конкурсов, программа МЧС г. Вологды.

18 марта – подведение итогов конференции, экскурсия в Ферапонтово и Кириллов, отъезд.

ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ

Ф. И. О. _____

Должность _____

Наименование организации _____

Почтовый адрес _____

Адрес для рассылки сборника _____

Телефон _____

Факс _____

E-mail _____

Наименование доклада _____

Необходимые технические средства для демонстрации доклада _____

Прошу забронировать место в гостинице (да, нет) _____

Заочное участие _____

Платежным поручением (или квитанция) № _____ от _____ 20____ г.

Перечислено _____ руб.



Г. В. Васюков
канд. техн. наук, доцент Академии ГПС
МЧС России, г. Москва, Россия



П. А. Кожин
адъюнкт Академии ГПС МЧС России,
г. Москва, Россия

УДК 614.841.12

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВОДОРОДА ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Проведено обобщение и анализ исследований в области пожарной опасности водорода при условиях, когда температура окружающей среды и водородных смесей до реакции составляет около 20 °C, а начальное давление смесей соответствует атмосферному. Выделены основные направления изучения пожарной опасности водорода: влияние различных флегматизаторов и ингибиторов на пожаровзрывобезопасные свойства водородсодержащих смесей, обеспечение пожарной безопасности технологических процессов с участием водорода, изменение условий и параметров взрыва водородсодержащих смесей (концентрационные пределы распространения пламени, максимальное давление взрыва, скорость нарастания давления взрыва, нормальная скорость горения), исследование кинетики реакций горения водорода, влияние загроможденности пространства на интенсификацию и подавление процесса горения водородно-воздушных смесей.

Ключевые слова: водород, пожарная опасность, пожаровзрывобезопасность, детонация, дефлаграция, окисление, кинетика, ингибирование, флегматизация, радикально-цепной механизм.

Водород уже давно привлекает внимание человека. Причинами этому являются его уникальные физико-химические свойства, а также практически неисчерпаемые запасы водорода на планете, что делает его наиболее предпочтительным, а порой незаменимым веществом в различных областях промышленности. В настоящее время водород широко используется в химии, нефтехимии, энергетике, на транспорте и в других отраслях промышленности, и область его применения постоянно расширяется. В недалеком будущем следует ожидать развития водородной энергетики, использования водорода в авиации, автомобилестроении и других отраслях.

Одной из основных причин, которые сдерживают применение водорода в различных отраслях промышленности, является его высокая пожарная опасность. Исследованием взрывоопасных свойств водорода специалисты занимаются более 30 лет. В настоящее время достаточно тщательно изучена пожарная опасность водорода при условиях, которые условно можно разделить на две группы: нормальные условия протекания реакции и условия, отличные от нормальных. Данная статья посвящена анализу исследований пожарной опасности водорода при нормальных условиях, в качестве которых принятые условия, при которых температура окру-

жающей среды и водородных смесей до реакции составляет около 20 °C, а начальное давление смесей соответствует атмосферному.

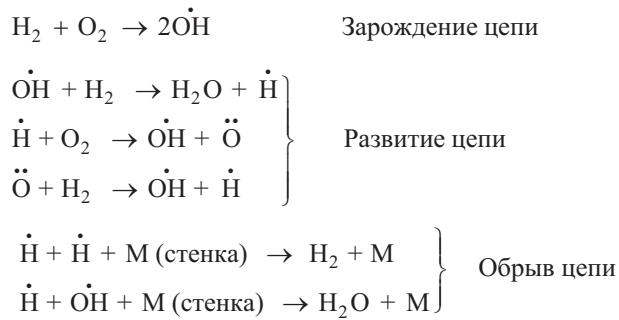
Водород имеет следующие свойства, характеризующие его пожаровзрывобезопасность:

- мольная теплота сгорания 241,6 кДж/моль;
- стандартная температура самовоспламенения 510 °C;
- концентрационные пределы распространения пламени (КПРП) в воздухе 4,1–75,0 % (об.), в кислороде — 4,1–96,0 % (об.);
- минимальная энергия зажигания 0,017 МДж;
- максимальная нормальная скорость горения в воздухе 2,7 м/с;
- максимальное давление взрыва 730 кПа;
- критический диаметр $0,6 \cdot 10^{-3}$ м;
- минимальное взрывоопасное содержание кислорода при разбавлении азотом 5 % (об.), диоксидом углерода — 7,9 % (об.) [1].

Исследован механизм, по которому происходит окисление водорода. При реакции окисления происходит соударение молекул H_2 и O_2 , имеющих достаточную энергию для разрыва химических связей. Образуются два гидроксильных радикала ($\cdot OH$). Число образующихся $\cdot OH$ обычно мало, поэтому они находятся в окружении молекул. Образовав-

шийся гидроксильный радикал легко вступает в реакцию с молекулой водорода, вследствие чего образуется конечный продукт (вода), а также новая активная частица (атом водорода). Последний легко вступает в реакцию с молекулой кислорода, и образуется атом кислорода ($\ddot{\text{O}}$), который имеет два неспаренных электрона (бирадикал). Бирадикал вступает в реакцию с молекулой водорода с образованием новых гидроксильных радикалов и атомов водорода Н. Новые радикалы OH будут снова вступать в реакцию с молекулой водорода, а атомы Н — с молекулой кислорода и так далее. Возникает цепочка превращений, в результате которых образуется большое количество молекул воды (H_2O). Такие реакции называются радикально-цепными. Цепочка превращений прервется при встрече двух активных частиц. В результате их соударения образуется молекула водорода или воды, происходит гибель активных частиц, и цепочка превращений на этом обрывается. В реакциях, ведущих к обрыву реакционных цепей, присутствует частица М, отводящая избыток энергии от образующихся H_2 и H_2O . В отводе избыточной энергии также может участвовать стена реактора.

Механизм химических превращений при окислении водорода в целом выглядит следующим образом:



Длина цепи для радикально-цепных реакций составляет от 10 до 10^5 , т. е. за один акт химического взаимодействия в реакциях развития цепей может образовываться до 10^5 молекул воды [2].

Одними из первых были проведены исследования по изучению образования взрывоопасных объемов водородно-воздушных (ВВС) и водородно-кислородных (ВКС) смесей в замкнутых, частично ограниченных и свободных пространствах при высоких массовых скоростях поступления водорода (заплывов выбросах). Исследования проводились на предварительно перемешанных смесях водорода с воздухом и кислородом, заключенных в эластичную оболочку, и газовых облаках, образующихся при проливе и испарении жидкого водорода в атмосферу. Показано, что при таких условиях коэффициент участия водорода во взрыве составляет не бо-

лее 0,5 от первоначальной массы газа. Изучены вопросы перехода дефлаграционного горения водорода в детонационный режим. Так, для воздушных смесей водорода возможен переход в детонационный режим, если радиус образовавшегося газового облака достигает 70 м. Для чистых ВКС переход в детонационный режим можно ожидать уже при размерах облака 3–4 м. На основании полученных результатов предложены некоторые способы предупреждения и снижения последствий взрыва газовоздушных облаков [3].

Экспериментально исследовано сгорание локальных ВВС в закрытом сосуде. Для случая перемешанных смесей получена обобщающая зависимость максимального избыточного давления от содержания горючего газа. Установлено, что максимально возможное давление наблюдается при концентрации водорода 22 % от объема смеси (рис. 1).

Показана возможность использования полученной обобщающей зависимости для неоднородных по концентрации горючего локальных смесей. Разработана экспериментально апробирована методика оценки максимального относительного давления взрыва для локальных неоднородных по концентрации горючего ВВС в замкнутом объеме. Предложена формула для определения максимального давления в зависимости от массы водорода:

$$\pi_m = 1 + 0,317J,$$

где π_m — максимальное относительное давление в сосуде; $\pi_m = P_m/P_1$;
 P_m — максимальное давление взрыва, Па;
 P_1 — начальное давление, Па;
 J — энергия, выделившаяся в результате химической реакции и выраженная в единицах P_1V_1 ;
 $J = ME_0/(P_1V_1)$;
 E_0 — тепловой эффект реакции, кДж/кг;
 M — масса горючего газа, кг [4].

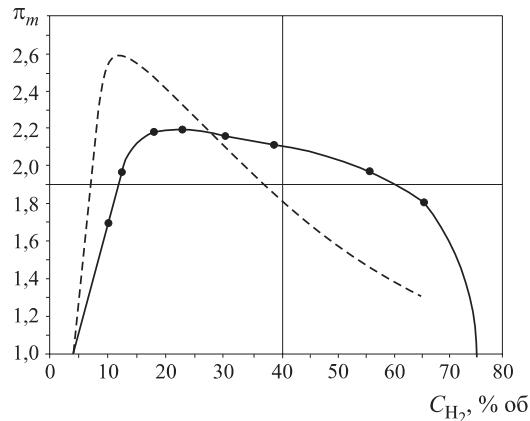


Рис. 1. Зависимость максимального относительного давления π_m от концентрации водорода C_{H_2} в локальном объеме при $J = 3,9$

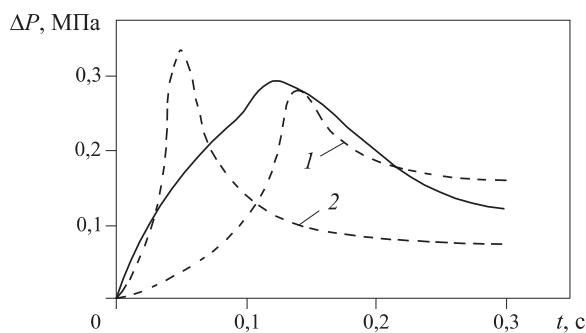


Рис. 2. Осциллограммы давление ΔP – время t при сгорании ВВС в реакционном сосуде при отсутствии движущейся водяной пленки и концентрации водорода 20 % (об.), зажигание снизу: 1 — коэффициент теплоотдачи стенкам трубы $\lambda = 850 \text{ Bt}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, $\chi = 6$; 2 — $\lambda = 600 \text{ Bt}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, $\chi = 15$; — эксперимент; - - - расчет

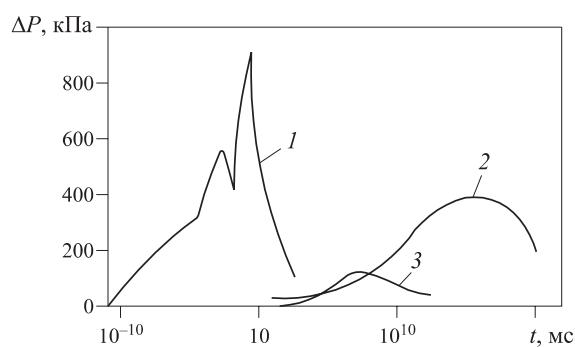


Рис. 3. Осциллограммы давление ΔP – время t при сгорании ВВС в реакционном сосуде при наличии движущейся водяной пленки (1, 3) и ее отсутствии (2) и концентрации водорода: 1, 2 — 30 % (об.); 3 — 15 % (об.)

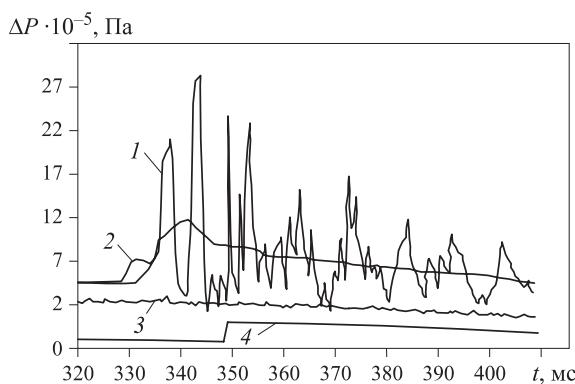


Рис. 4. Осциллограммы давление ΔP – время t при сгорании ВВС в реакционном сосуде при наличии движущейся водяной пленки и концентрации водорода 18 % (об.): 1, 2, 3 — давления, регистрируемые датчиками, расположенными соответственно в нижней, средней и верхней точках сосуда; 4 — расход воды в усл. ед.

Проведены работы по обеспечению пожаровзрывобезопасности производственных процессов с участием водорода путем его окисления на каталитических сжигателях на основе гидрофобизированного катализатора в беспламенном режиме. Для сжигате-

лей в виде сеток с размерами ячеек 0,315 и 0,63 мм был получен эффект стабилизации пламени без повышения давления и температуры в реакционном сосуде. Установлено, что сетка с размером ячейки 0,08 мм препятствует доступу свежей смеси, необходимой для поддержания горения, а с размером ячейки 2,2 мм не является огнепреграждающей для концентраций водорода выше 8 % (об.). Изучено влияние на эффективность сжигания водорода пламенным сжигателем диаметра и длины корпуса, а также размера ячейки огнепреграждающей сетки [5–10].

В технологических аппаратах в химической и других отраслях промышленности широко используется пленочное водяное охлаждение. В таких аппаратах движущаяся водяная пленка может оказывать турбулизирующее влияние на распространяющийся фронт пламени ВВС, которая часто обращается в таких аппаратах. В результате турбулизации горение интенсифицируется с возрастанием взрывных нагрузок. Зависимости давления ΔP от времени при отсутствии и наличии водяной пленки показаны на рис. 2 и 3. Фактор турбулизации пламени χ , характеризующий уровень его (пламени) ускорения, предполагался постоянным в течение всего процесса и составлял: $\chi = 6$ и $\chi = 15$.

Выявлено, что волна давления при сгорании ВВС в трубе с движущейся водяной пленкой имеет несколько пиков (рис. 4).

Изучен процесс перехода горения в детонацию для смесей $(\text{H}_2 + \text{O}_2) + \beta\text{N}_2$, а также возможность возникновения гидроудара в столбе жидкости, который может в 2–3 раза превышать максимальное давление газовой смеси [11].

Исследованы механизмы воспламенения водорода на первом, втором и третьем пределах воспламенения. Показано, что на всех трех пределах реакция горения протекает по цепному механизму, который определяет закономерности процесса, основной из которых является превышение скорости разветвления цепей над скоростью обрыва [12].

Изучены процессы распространения пламени в ВВС в загроможденном пространстве [13–15]. Показано, что невозможно точно прогнозировать уровень интенсификации горения при прохождении пламенем турбулизирующих препятствий, поскольку загроможденность пространства может вызывать не только интенсификацию, но и подавление процесса горения. Это подтверждают исследования распространения пламени в ВВС в трубе с засыпкой из металлических шариков. В результате их установлено, что в зависимости от диаметра шариков и состава смеси может быть реализовано как ускорение, так и замедление распространения пламени, вплоть до его угасания (рис. 5) [16].

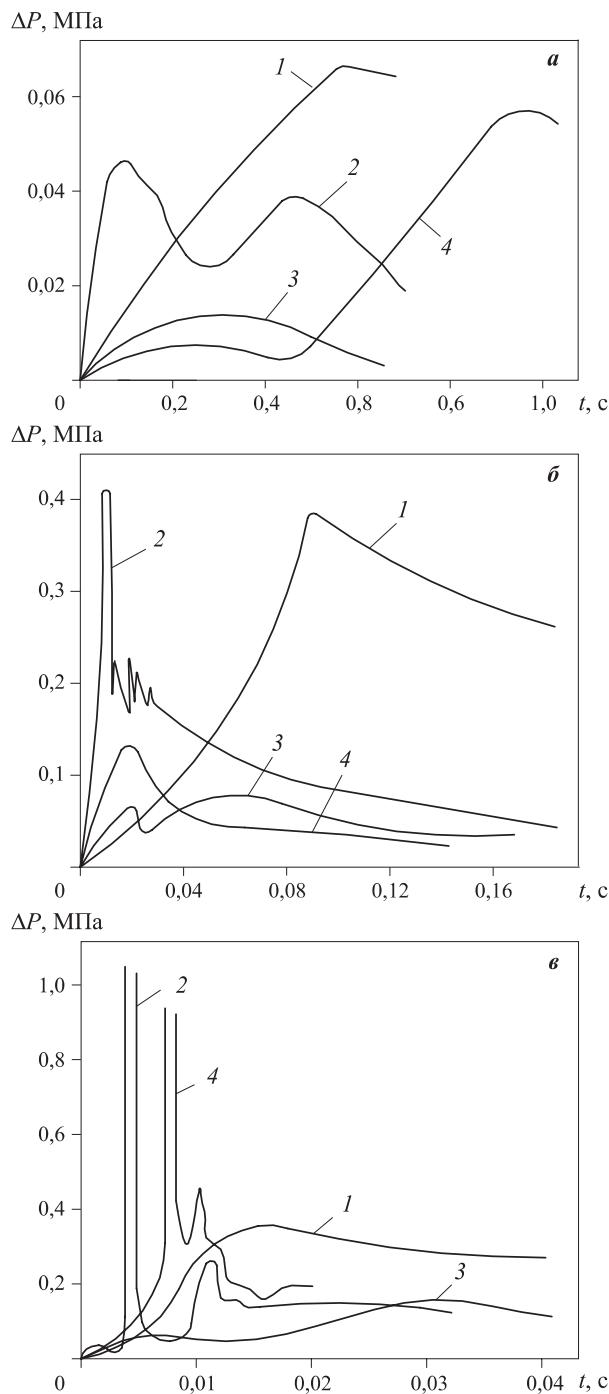


Рис. 5. Осциллограммы давление ΔP – время t при горении горючей смеси в реакционном сосуде при концентрации водорода: a — 10 % (об.); b — 20 % (об.); c — 40 % (об.); 1 — горение в незамкнутом сосуде; 2 — засыпка из шариков $d = 30$ мм, высотой $h = 700$ мм (a) и 500 мм (b , c); 3 — то же, $d = 8$ мм, высотой $h = 700$ мм (a) и 500 мм (b , c); 4 — то же, $d = 15,5$ мм, высотой $h = 500$ мм

Важным вопросом в обеспечении пожаровзрывобезопасности различных производственных процессов является поиск наиболее эффективных способов борьбы с образованием взрывоопасных объемов водорода. Одним из таких способов является метод флегматизации, при котором водород

разбавляется инертными газами. Решению этого вопроса были посвящены исследования [17–19], которыми установлено, что наиболее эффективными являются флегматизаторы, имеющие более высокую теплоемкость, например углекислый газ.

Другим способом прекращения горения является ингибирирование. Ингибиторы имеют высокую огнетушащую способность и получили широкое применение. К таким ингибиторам относятся бромсодержащие хладоны, обладающие высокой эффективностью в случае применения их для пожаротушения и взрывопредупреждения, однако данная группа веществ оказывает разрушающее действие на озоновый слой Земли. В связи с этим был начат поиск других эффективных и экологически безопасных ингибиторов [20–27]. Предлагается использовать фторированные углеводороды. Исследовано их влияние на КПРП, а также определены нормальные скорости горения ВВС в замкнутом сосуде для составов горючее (водород) – воздух – фторированные углеводороды (C_2F_5Cl , C_2F_5I , C_4F_{10} , CF_2ClH , $C_3F_6H_2$). Обнаружено, что в зависимости от концентрации фторированного углеводорода может иметь место как ингибирирование, так и промотирование процесса горения. При низких концентрациях ингибиторов происходит снижение нормальной скорости горения, а при высоких — ее повышение, когда становится заметно их выгорание (рис. 6) [28].

Процессом горения можно управлять при помощи химически активных примесей, способных эффективно взаимодействовать с атомарным водородом (группа ингибиторов типа АКАМ™). Экспериментально установлена эффективность действия ингибиторов АКАМ™ на горение смеси 67 % (об.) H_2 – 33 % (об.) CO с воздухом. На рис. 7–10 видно, что для смеси 30 % (об.) горючего – 4 % (об.) ингибитора концентрационная область распространения пламени сужается (верхний КПРП опускается с 75 до 30 %), максимальное давление взрыва уменьшается (с 650 до 150 кПа), и нормальная скорость горения взрыва снижается (с 2,7 до 0,41 м/с). Ингибиторы АКАМ™ промотируют горение бедных смесей и эффективно подавляют горение богатых и околостехиометрических смесей. Путем подбора ингибиторов можно управлять горением указанной горючей системы, изменяя характеристики процесса. Показано, что смесь 67 % (об.) H_2 – 33 % (об.) CO с добавками ингибиторов АКАМ™ может рассматриваться как перспективное моторное топливо [29].

Проведено изучение ингибирирования процесса воспламенения и горения водорода в воздухе. Показано, что при горении смесей водород – воздух – галоидсодержащий разбавитель критическая концент-

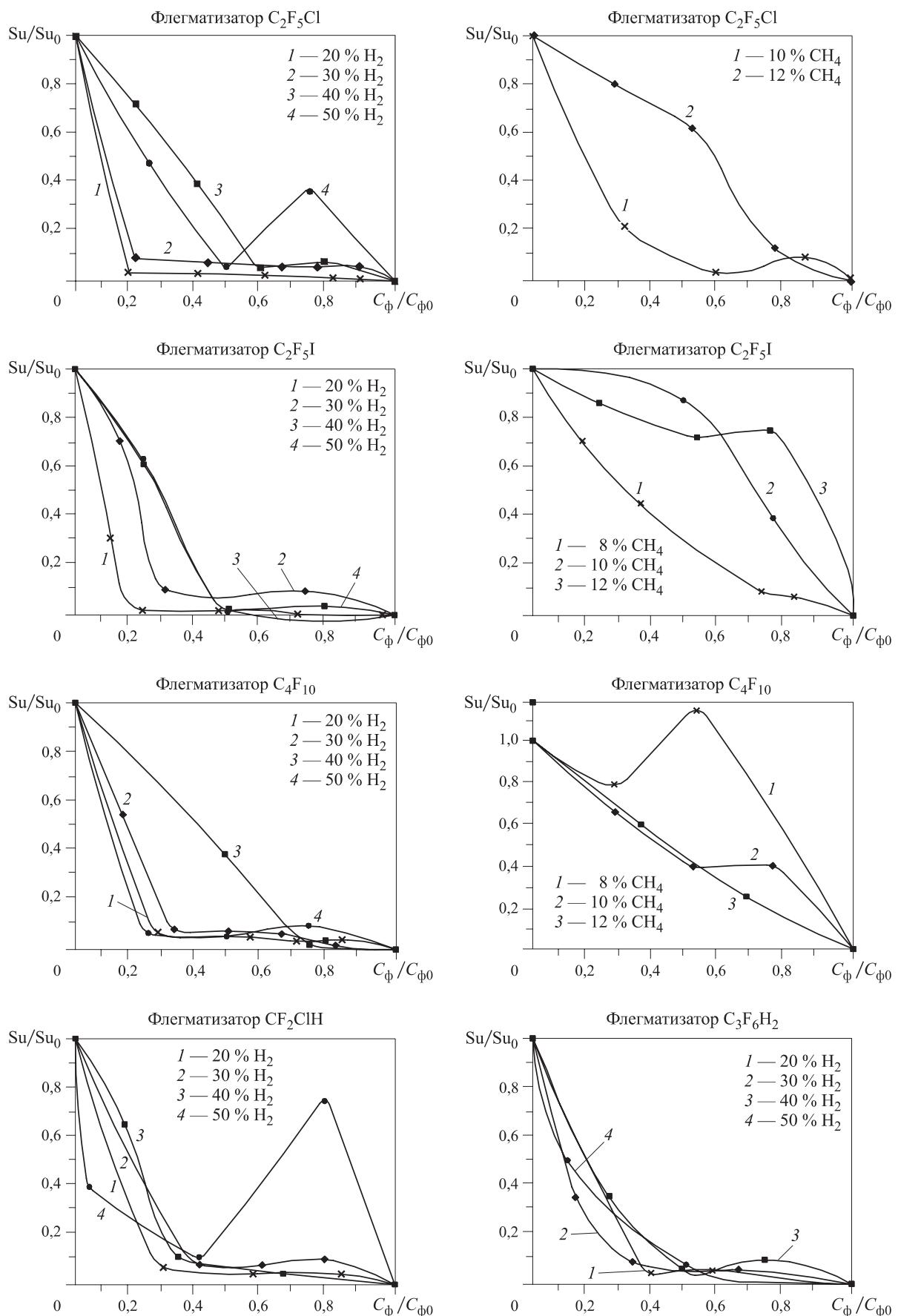


Рис. 6. Зависимость нормальной скорости горения от концентрации ингибитора

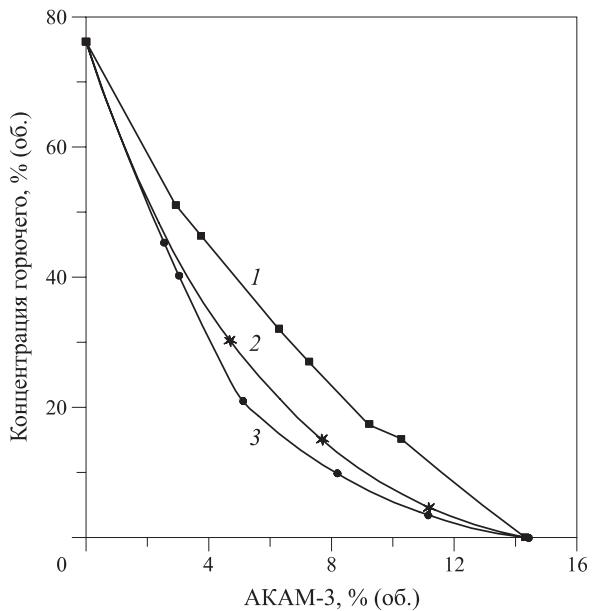


Рис. 7. Верхние КПРП в смесях горючее – воздух – АКАМ-3:
1 — CO; 2 — смесь 67 % (об.) H₂ – 33% (об.) CO; 3 — H₂

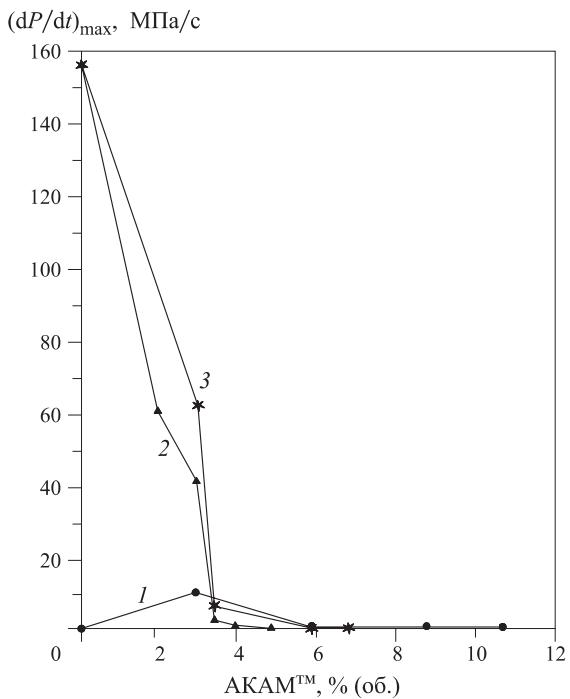


Рис. 9. Зависимость максимальной скорости нарастания давления взрыва смеси 67 % (об.) H₂ – 33 % (об.) CO в воздухе от концентрации горючего и вида ингибитора:
1 — 15 % (об.), АКАМ-3; 2 — 30 % (об.), АКАМ-3; 3 — 30 % (об.), АКАМ-7

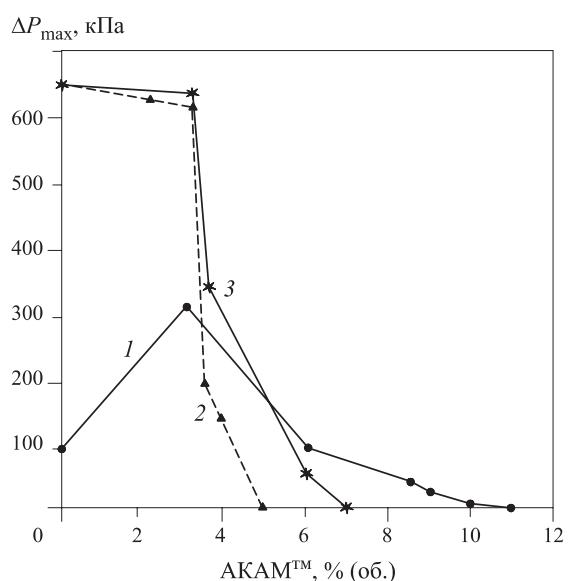


Рис. 8. Зависимость максимального давления взрыва смеси 67% (об.) H₂ – 33 % (об.) CO в воздухе от концентрации горючего и вида ингибитора: 1 — 15 % (об.), АКАМ-3; 2 — 30 % (об.), АКАМ-3; 3 — 30 % (об.), АКАМ-7

рация кислорода $C_{O_2}^{kp}$ с ростом относительной концентрации флегматизатора C_r увеличивается:

$$C_r = C_d / C_{di},$$

где C_d — концентрация разбавителя;

C_{di} — содержание разбавителя в точке флегматизации, соответствующей мысу кривой флегматизации (рис. 11).

В то же время при добавлении в богатую BBC галоидсодержащих ингибиторов коэффициент из-

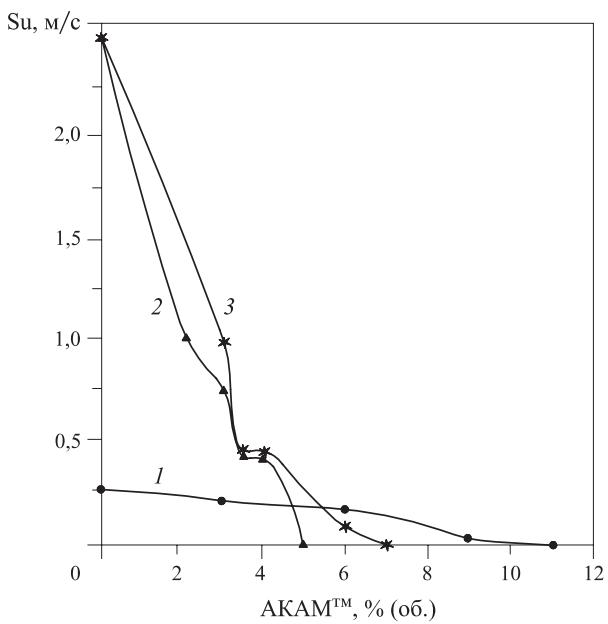


Рис. 10. Зависимость максимальной нормальной скорости горения смеси 67 % (об.) H₂ – 33 % (об.) CO в воздухе от концентрации горючего и вида ингибитора: 1 — 15 % (об.), АКАМ-3; 2 — 30 % (об.), АКАМ-3; 3 — 30 % (об.), АКАМ-7

бытка горючего ϕ_{kp} с ростом C_r резко падает с 7 до 1, причем наиболее быстро для самого сильного ингибитора — C₂F₅I (рис. 12).

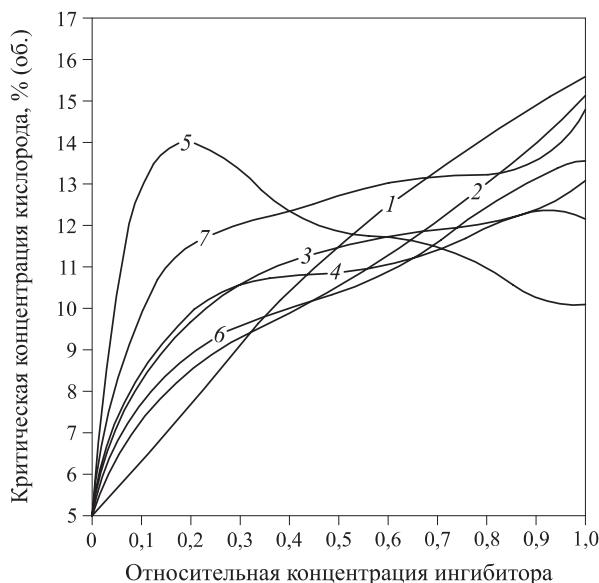


Рис. 11. Зависимость критической концентрации кислорода в смесях водород – воздух – галоидсодержащих флегматизаторов: 1 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$; 2 — CF_2ClH ; 3 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$; 4 — CF_3H ; 5 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{I}$; 6 — C_4F_{10} ; 7 — $\text{C}_3\text{F}_7\text{H}$

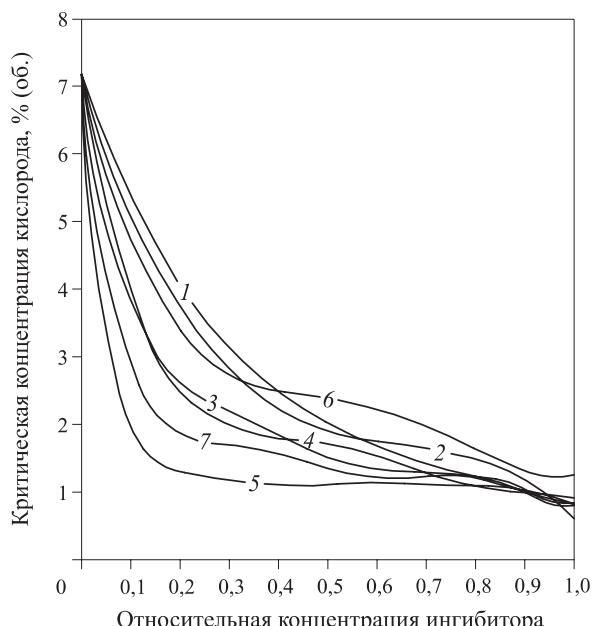


Рис. 12. Зависимость коэффициента избытка горючего в смесях водород – воздух – галоидсодержащих флегматизаторов: 1 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$; 2 — CF_2ClH ; 3 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$; 4 — CF_3H ; 5 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{I}$; 6 — C_4F_{10} ; 7 — $\text{C}_3\text{F}_7\text{H}$

В отличие от галоидсодержащих ингибиторов в случае химически инертных агентов критическая концентрация кислорода весьма слабо зависит от относительной концентрации флегматизатора и составляет около 5–6 % (об.) (рис. 13, а). Критическое значение коэффициента избытка горючего мо-

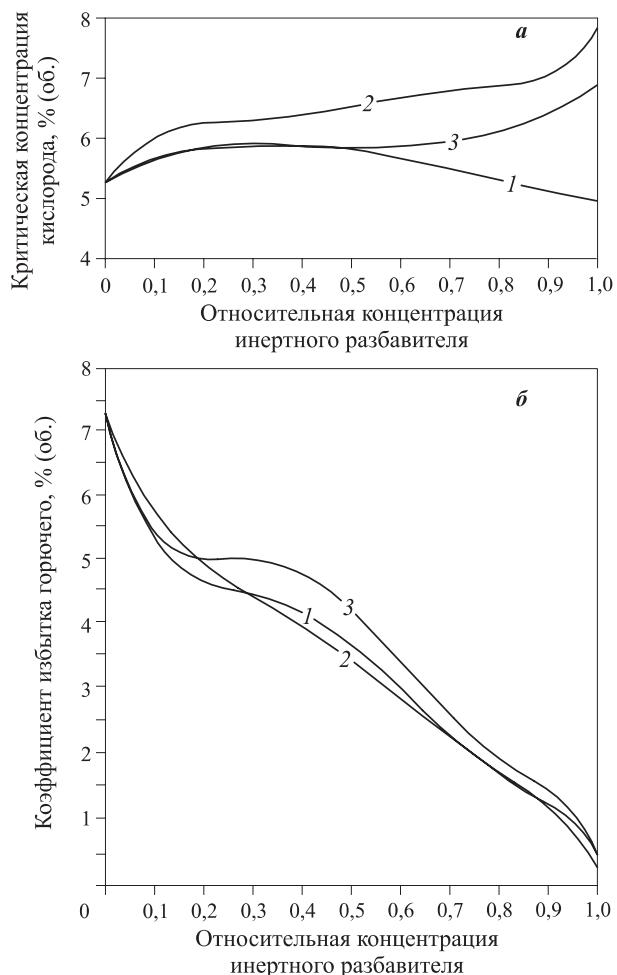


Рис. 13. Зависимость критической концентрации кислорода (а) и коэффициента избытка горючего (б) в смесях водород – воздух – инертный разбавитель от относительной концентрации разбавителей: 1 — N_2 ; 2 — CO_2 ; 3 — H_2O

нотонно падает до весьма низких значений (около 0,4–0,5), характерных для бедных смесей (см. рис. 13, б).

Показано, что эффект самоингибиции в ВВС отсутствует. Авторами предложен способ оценки относительной эффективности различных ингибиторов (включая горючий газ, рассматриваемый в богатых смесях в качестве ингибитора) [30].

Добавки пропилена и изопропилового спирта существенно влияют на скорость распространения пламени ВВС в преддетонационном режиме, на переход дефлаграции в детонацию и на интенсивность горения. Окисление пропилена и изопропанола до одних и тех же конечных продуктов протекает с расходованием одинаковых количеств кислорода и характеризуется очень близкими значениями теплоты сгорания, скорости распространения пламени и КПРП. Тормозящее действие малых добавок пропилена на все режимы горения ВВС эффективнее по сравнению с изопропиловым спиртом, что вызвано различием механизмов обрыва реакцион-

ных цепей горения водорода при участии этих соединений. Торможение горения водорода пропиленом и изопропанолом по своему механизму и феноменологии полностью соответствует определению ингибиравания [31].

Проведены исследования зависимости длины вертикального диффузионного водородного факела в неподвижной атмосфере от добавок к водороду газов и паров различной химической природы (гелий, азот, диоксид углерода, пентафторэтан, ингибитор АКМ). Выявлено, что ингибитор АКМ и пентафторэтан вызывают существенный рост длины диффузионного факела, в то время как химически инертные агенты изменяют длину факела в значительно меньшей степени. Уточнены эмпирические коэффициенты в полуэмпирическом соотношении, позволяющем рассчитывать длину диффузионного факела водорода в неподвижной атмосфере в зависимости от скорости истечения и концентрации добавки. Обнаружена двухзонная структура диффузионного факела водорода с добавками АКМ и пентафторэтана при концентрации их в водороде более 3 % (об.) [32].

Численными методами определена роль диффузии атомов водорода в условиях развития цепной лавины в низкотемпературной зоне плоского одномерного богатого пламени водорода в присутствии ингибирующих добавок углеводорода. Численное моделирование распространения ламинарного пламени богатой гомогенной смеси водород – воздух с добавкой пропилена показало, что добавление малых количеств пропилена приводит к уменьшению концентраций HO_2 и OH в низкотемпературной зоне фронта пламени, что эффективно снижает нормальную скорость пламени (рис. 14).

Во фронте пламени пропилен расходуется полностью с образованием CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , H_2 и H_2O , а водород преимущественно не окисляется по сравнению с пропиленом. В пламени водород и пропилен проявляют одинаковую активность по отношению к кислороду, т. е. селективного окисления водорода в этих условиях не обнаружено [33].

Исследовано влияние ингибиторов пропена и изобутена на стационарную детонационную волну в ВВС. Выявлены зависимости характеристик детонации от строения молекул ингибитора. Установлено, что без участия ингибитора скорость детонации стационарна. Влияние добавок пропена несколько слабее, чем изобутена. При увеличении содержания ингибитора детонационная волна распадается раньше. Разрушение детонационной волны вызвано обрывом реакционных цепей в результате реакции ингибитора с активными промежуточными продуктами, в первую очередь с атомарным водородом. Таким образом, установлено, что в стационарной

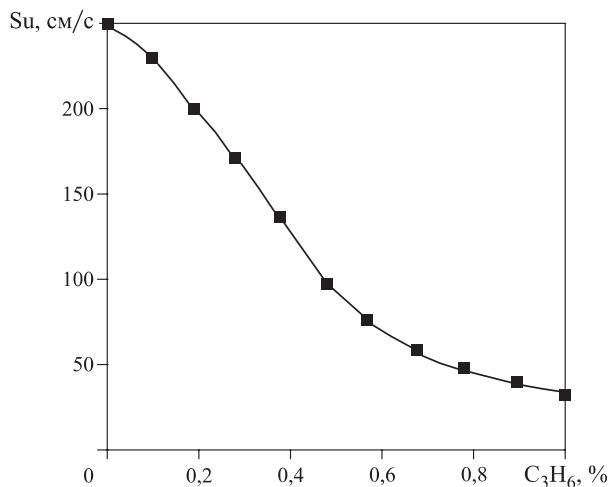


Рис. 14. Зависимость нормальной скорости распространения пламени в смесях 55 % H_2 – воздух от концентрации пропилена в исходной смеси

детонационной волне в ВВС, даже близких к стехиометрическому составу, конкуренция разветвления и обрыва цепей играет ведущую роль. Следовательно, с помощью ингибиторов можно воздействовать на характеристики детонационной волны [34].

Разработана и описана численная модель для расчета дефлаграции начально-неподвижной стехиометрической ВВС в закрытом сосуде с центральным зажиганием. В результате расчета по данной модели и сравнения расчетных данных с экспериментальными проведена оценка эффективности модели по результатам моделирования толщины фронта пламени и динамики давления [35].

Исследована взрывопожарная опасность аккумуляторов с рекомбинацией водорода и помещений с ними. Аккумуляторы с рекомбинацией водорода обеспечивают рекомбинацию более 95 % выделяемого внутри элемента водорода. Показано, что при скоростях поступления водорода в помещение 10^{-4} – $10^{-2} \text{ м}^3/\text{ч}$ его распределение неоднородно и подвержено сильному влиянию даже незначительной негерметичности помещения. Влияние последней ослабевает по мере увеличения скорости подачи газа в помещение (рис. 15).

Получена эмпирическая формула для описания зависимости максимальной концентрации водорода от времени, скорости его поступления и объема помещения:

$$C_{\max} = \frac{qt}{V} (1 - 1,02e^{-200q}) \cdot 100,$$

где C_{\max} — максимальная концентрация водорода в помещении;
 q — скорость подачи газа, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 t — время, ч;
 V — объем помещения, м^3 [36].

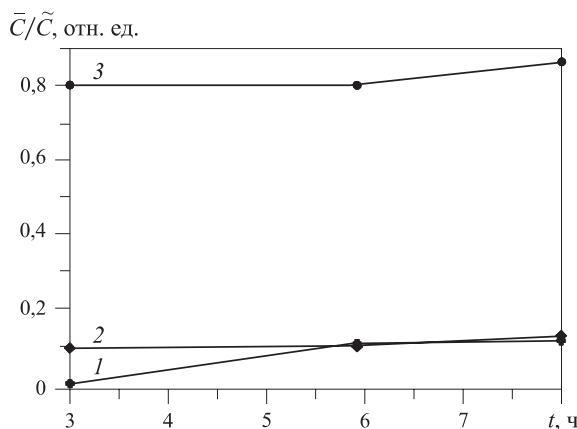


Рис. 15. Влияние негерметичности помещения на средненеобъемную концентрацию водорода при различных скоростях подачи газа: 1 — $q = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{ч}$; 2 — $q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{ч}$; 3 — $q = 10^{-2} \text{ м}^3/\text{ч}$

Показано, что при определенном соотношении скорости поступления водорода в помещение аккумуляторной подстанции и площади открытых проемов для обеспечения безопасности помещения (по водороду) не требуется устройства вентиляции. В этом случае помещение аккумуляторной подстанции не относится к категории А по взрывопожарной опасности [37]. Проведенные авторами исследования показывают, что принятное в [38] значение коэффициента участия водорода во взрыве $Z = 1$ ведет к неоправданному завышению категории рассматриваемых помещений. Предложена методика расчета коэффициента Z для водорода, учитывающая время, скорость натекания водорода, геометрические характеристики помещения, площадь проемов и температурные условия [39].

Численно исследован процесс распространения плоского ламинарного пламени в богатых гомогенных смесях водород – пропан – воздух. Показано, что максимальная температура пламени превышает термодинамически равновесную и достигается, когда химические и физические процессы еще не завершены. Форма границы области распространения пламени зависит от ингибиования и от увеличения сверхдиабатических температур в зоне пламени. Степень сверхдиабатичности зависит от соотношения концентраций водорода и пропана. Полученные данные по КПРП в богатых смесях водород – пропан – воздух позволяют сделать вывод об отсутствии промотирования окисления пропана добавками водорода [40].

Методом лазерно-индукционной флуоресценции (ЛИФ) изучены процессы диффузионного горения заранее перемешанных смесей ($\text{H}_2 + \text{O}_2$) и проведены оптические измерения локальных значений температуры и концентрации радикала OH. В линейном режиме получены данные по темпера-

туре пламени, в режиме насыщения флуоресценции измерены концентрации OH. Максимальные уровни концентрации радикала в водородно-воздушном и стехиометрическом водородно-кислородном пламенах близки и равны $4,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Температура горения для стехиометрической смеси ($\text{H}_2 + \text{O}_2$) составляет 3090 К, а для богатой и бедной смесей значительно ниже. Данные результаты соответствуют высокому пространственному ($\approx 0,1 \text{ мм}$) и временему ($15 \cdot 10^{-9} \text{ с}$) разрешению [41].

Внутри КПРП ВВС, соответствующих 5–75 % (об.) водорода при начальных нормальных условиях, существует область объемных концентраций водорода (18–60 %), где газовые смеси горят с повышенной интенсивностью, что объясняется особенностями цепно-теплового механизма неизотермических реакций в режиме цепно-теплового взрыва [42]. Оценка концентрационных пределов показала, что внутри КПРП интенсивного горения ВВС, соответствующих примерно 18–60 % (об.) водорода и обусловленных особенностями механизма взаимодействия в горящих смесях, наблюдается существенное повышение степени ионизации пламени. Причем интенсивная ионизация начинается не в момент зажигания этих смесей, а несколько позже, ближе к завершению горения. Процесс ионообразования во времени носит сложный характер, адекватно отвечая изменению во времени режима горения ВВС [43].

Известны три модели химической кинетики горения водорода в кислороде [44–46] и три газодинамические модели течения реагирующей смеси за фронтом инициирующей ударной волны. Сравнение расчетных данных с экспериментальными по зависимостям времени задержки воспламенения от температуры показало наилучшее согласование их для всех моделей химической кинетики [47–50]. Численный анализ рассчитанных кинетических схем горения водорода показал, что схема с 38 реакциями восьми химических компонентов ($\text{H}_2, \text{O}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{OH}, \text{H}, \text{O}, \text{HO}_2, \text{H}_2\text{O}_2$) наилучшим образом описывает эти экспериментальные данные в диапазоне температур от 1000 до 2800 К [46]. Ни одна схема не обеспечивает получение точного времени задержки воспламенения при температурах ниже 1000 К [47]. При малых начальных концентрациях ВВС в аргоне даже модель, не учитывающая влияние тепловыделения на параметры газа, позволяет удовлетворительно описать зависимости периода индукции от температуры. С ростом начальной концентрации реагирующих компонентов следует применять математическую модель, учитывающую изменение температуры смеси [51].

Проведены оптические исследования водородно-воздушного пламени в диффузионных факелах и кварцевых трубках. Исследования выполнены с

помощью оптической системы, позволяющей регистрировать интенсивность свечения радикалов OH в водородном факеле. По результатам измерений найдено положение зон локального тепловыделения. Построена зависимость длины диффузионного водородного факела от расхода водорода Q . При $Q = 0,1$ л/с происходит полное сгорание водорода. Увеличение расхода водорода при дозвуковом истечении приводит к развитию вибрационного горения. При $Q = 0,8$ л/с основная доля водорода сгорает вблизи жиклера в узкой зоне. При $Q = 1,2$ л/с в отверстии жиклера параметры водорода сверхкритические, формируется сверхзвуковая струя водорода в эжектируемом потоке воздуха и горение сопровождается интенсивным звуком. Для получения режимов развитого вибрационного горения требуется расход водорода $Q = 5$ л/с. Такой расход достигается увеличением полного давления инжектируемого водорода. Длина ламинарного факела увеличивается с ростом расхода водорода, а при турбулентном горении длина факела постоянна и не зависит от его расхода.

Разработана схема процесса вибрационного горения в эжекторных системах, в соответствии с которой при любых соотношениях расходов воздуха и водорода внутри трубы может происходить неполное сгорание водорода. На рис. 16 показано, что интенсивность ультрафиолетового излучения пламени зависит от способа сжигания водорода [52].

Экспериментально исследованы характеристики горения околовпределных богатых смесей водород – окислительная среда – флегматизатор в замкнутом сосуде при различном содержании кислорода в окислительной среде. В качестве окислительной среды использовались смеси азота и кислорода с содержанием кислорода 15; 20,6 и 25 % (об.), в качестве флегматизаторов — трифторметан CF_3H , пентафтторэтан $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$, перфторбутан C_4F_{10} и ингибитор АКМ. Определены зависимости максимального давления взрыва ΔP_{\max} и максимальной скорости нарастания давления взрыва (dP/dt_{\max}) от концентрации флегматизатора C_{rel} . Установлено, что в большинстве случаев в зависимостях ΔP_{\max} от C_{rel} наблюдается максимум, в то время как в зависимостях (dP/dt_{\max}) максимумы имеют место только для пентафтторэтана $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$.

Дана качественная интерпретация полученных результатов на основе представлений об активном участии рассматриваемых флегматизаторов в химическом превращении во фронте пламени (в ряде случаев с дополнительным тепловыделением) и существовании двух кинетических режимов разветвленного цепного горения [53]. Определено, что при относительно небольших изменениях концентрации кислорода в азотно-кислородной окислитель-

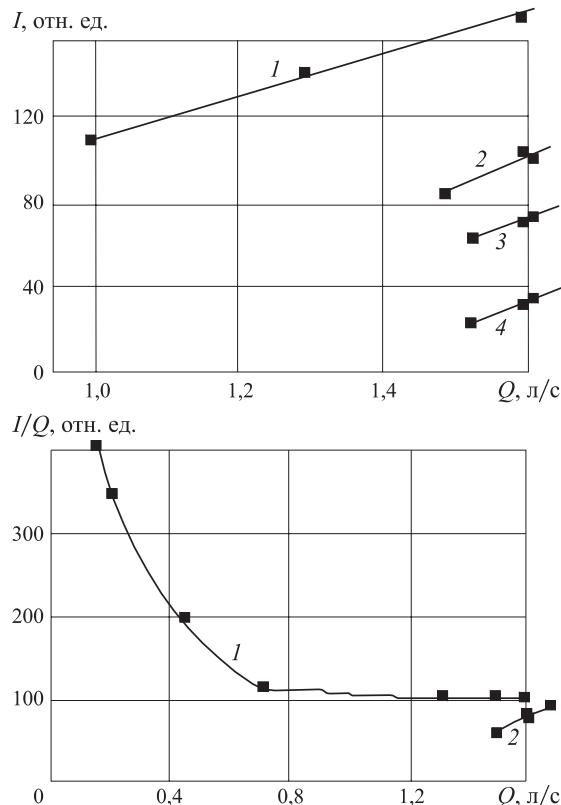


Рис. 16. Зависимость интенсивности ультрафиолетового излучения пламени от расхода водорода: 1 — излучение диффузионного факела; 2 — общее излучение при горении в трубке; 3 — излучение пламени над верхним срезом трубы; 4 — излучение пламени над жиклером

ной среде — с 20,6 до 15 % (об.) воздуха минимальные флегматизирующие концентрации CF_3H и $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$ снижаются приблизительно в 1,5 раза, а при возрастании содержания O_2 с 20,6 до 25 % (об.) минимальная флегматизирующая концентрация $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$ повышается также в 1,5 раза (рис. 17). С уменьшением концентрации O_2 ингибирующая эффективность агента АКМ существенно возрастает. Отмечена высокая эффективность ингибитора АКМ при горении богатых и околосхеметрических водородсодержащих смесей (ВСС). Высокая эффективность ингибитора АКМ обусловлена быстрой реакцией его с активными центрами, реализующими цепной процесс горения и регенерации ингибитора и его повторное участие в гибели активных центров [54]. Показано, что среди исследованных флегматизаторов наиболее эффективными по отношению к горению богатых околовпределных ВСС являются перфторбутан C_4F_{10} и ингибитор АКМ (см. рис. 17).

При экспериментальном определении нормальной скорости горения богатых околовпределных смесей водород – окислительная среда – флегматизатор установлено, что при введении в горючую смесь добавок флегматизаторов нормальная скорость горения падает с 0,5 до 0,2 м/с, а при дальней-

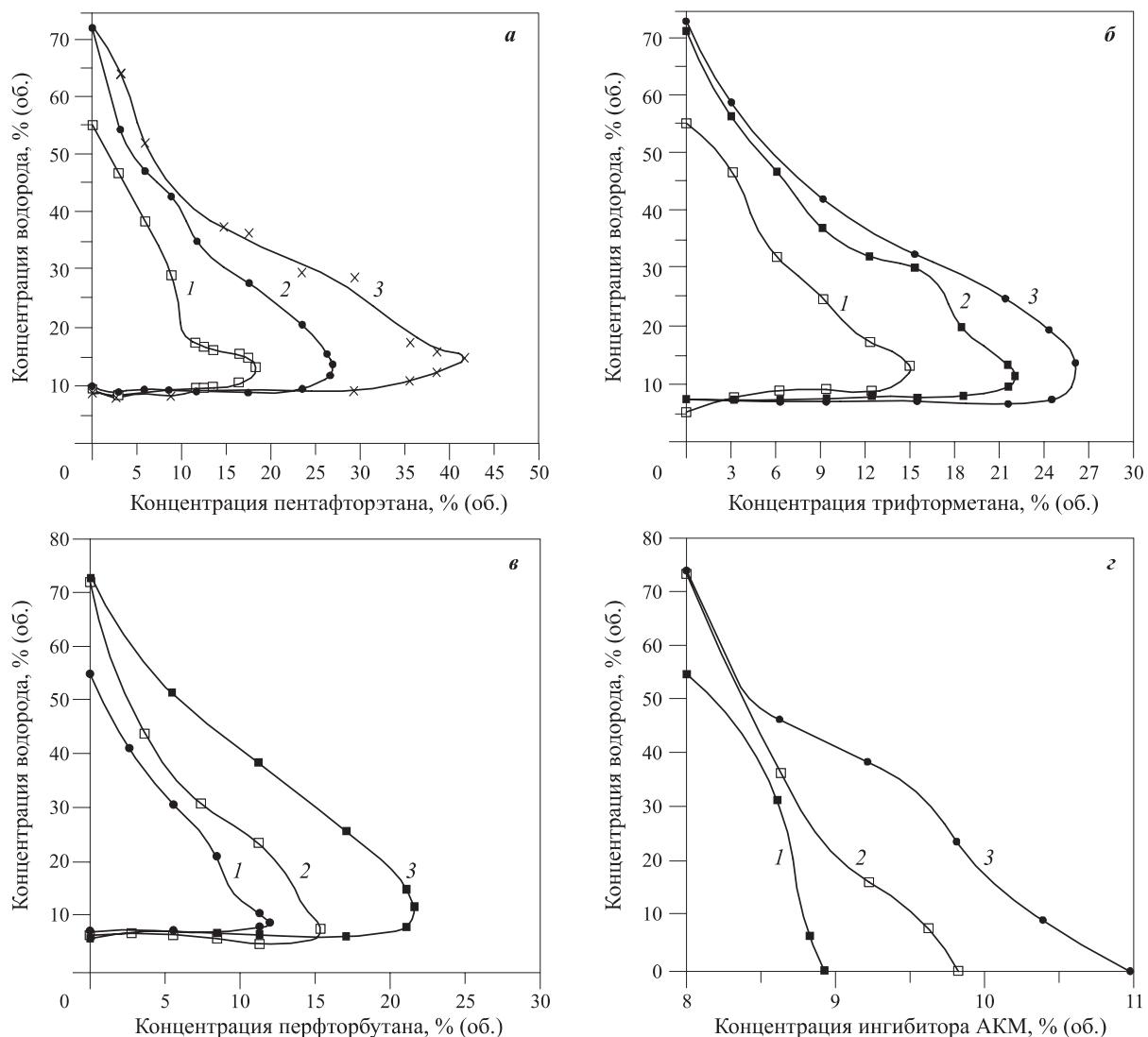


Рис. 17. КПРП в смесях при различных концентрациях кислорода: *а* — $\text{H}_2 + (\text{O}_2 + \text{N}_2) + \text{C}_2\text{F}_5\text{H}$; *б* — $\text{H}_2 + (\text{O}_2 + \text{N}_2) + \text{CF}_3\text{H}$; *в* — $\text{H}_2 + (\text{O}_2 + \text{N}_2) + \text{C}_4\text{H}_{10}$; *г* — $\text{H}_2 + (\text{O}_2 + \text{N}_2) + \text{АКМ}$; 1 — 15 % (об.); 2 — 20,6 % (об.); 3 — 25 % (об.)

шем увеличении содержания ингибирующих агентов меняется слабо (рис. 18 и 19). Эмпирическое правило приближенного постоянства нормальной скорости горения околопредельных смесей справедливо далеко не всегда, что особенно наглядно для смесей без флегматизаторов и для пентафторэтана $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$ [55].

При численном моделировании рассмотрено распространение плоского ламинарного гомогенного газового пламени водорода с воздухом. Диффузия атомов водорода в низкотемпературную область в водородном пламени приводит к образованию радикала HO_2 и лавинообразному росту концентрации радикала OH в низкотемпературной области фронта за счет протекания реакции квадратичного разветвления $\text{H} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{OH}$. Концентрации OH растут практически во всем диапазоне изменения температуры фронта. За счет квадратичного разветвления в низкотемпературной области пламя во-

дорода распространяется со скоростями на порядок выше нормальной скорости углеводородного пламени [56].

Предложено решение задачи водородной безопасности посредством моделирования формирования и распространения детонационных и взрывных волн, а также оценки последствий их воздействия на технические сооружения и конструкции. Проведено кинетическое исследование стадии тепловыделения при горении смесей водород — кислород — инертная добавка. Указаны особенности кинетики на этой стадии; разработана алгебраическая модель для оценки времени тепловыделения и предложена модифицированная кинетическая модель горения водорода, которая воспроизводит основные особенности кинетики на стадии тепловыделения и таким образом обеспечивает более точное моделирование формирования детонационных и взрывных волн на объектах водородной энергетики [57].

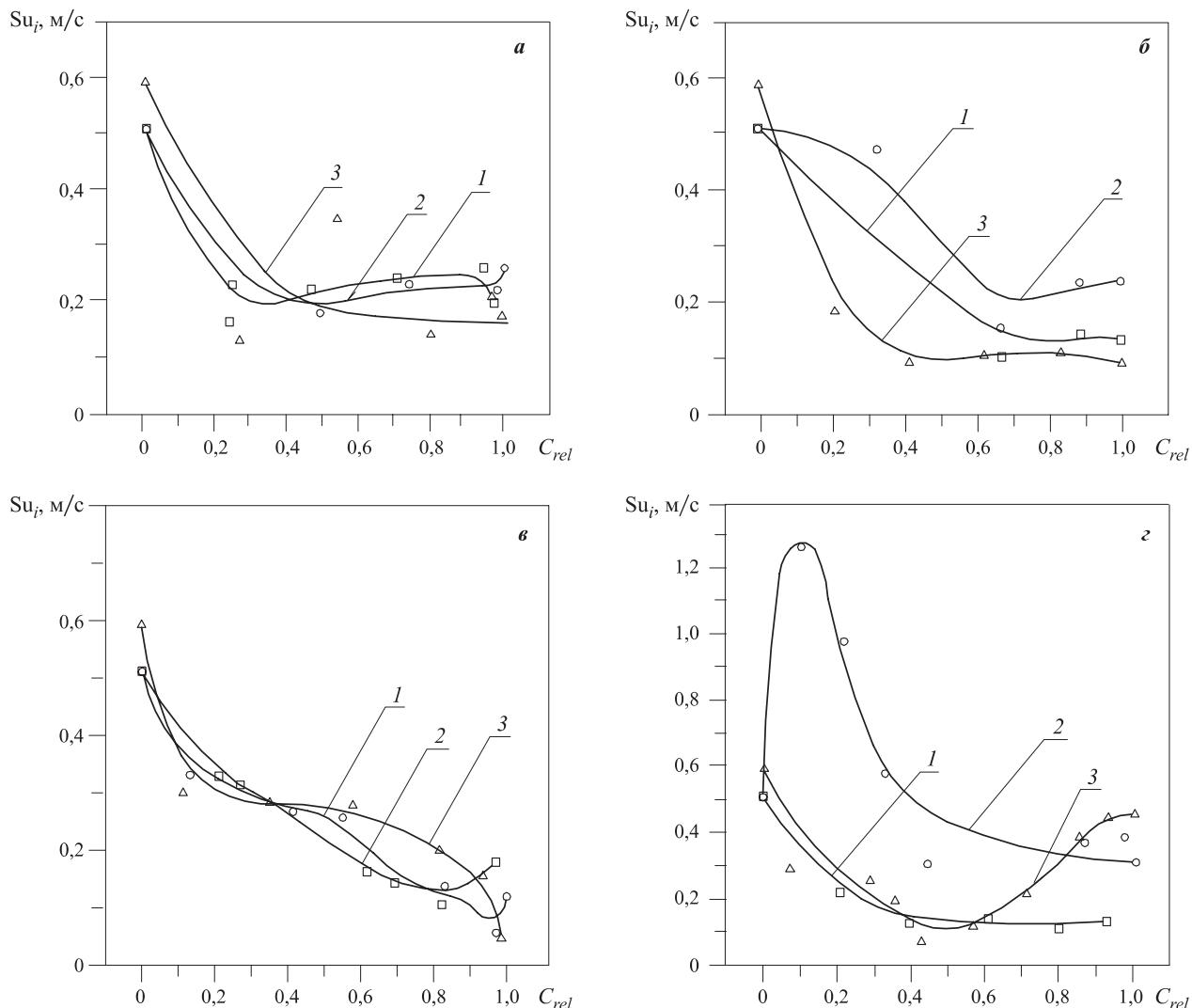


Рис. 18. Зависимость нормальной скорости распространения пламени от относительной концентрации флегматизатора C_4F_{10} (а), ингибитора АКМ (б), CF_3H (в), $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$ (г) при содержании кислорода в окислительной среде: 1 — 15 % (об.); 2 — 20,6 % (об.); 3 — 25 % (об.)

Проведено аналитическое определение коэффициентов участия водорода в горении и взрыве путем решения модельной задачи одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода из емкости через канал постоянного сечения в атмосферу [58]. Полученные максимальные значения коэффициентов участия массы водорода в горении и взрыве составляют: $Z_{\text{г}} = 0,2743$; $Z_{\text{в}} = 0,1279$, что в 7,8 раза меньше значения соответствующего показателя, которое принято в [51]. Отмечено, что для более точной оценки коэффициента участия водорода во взрыве необходимо учитывать трехмерную нестационарную конвекцию, возникающую при натекании водорода в помещение, по методам расчета, предложенным в [59, 60].

С помощью численного моделирования распространения плоского ламинарного пламени исследовано влияние различных добавок на нормальную

скорость горения водорода в воздухе. Показано, что добавки метана к ВВС различного состава приводят к монотонному снижению номинальной скорости горения (рис. 20). Исключением являются очень бедные смеси с коэффициентом избытка горючего 0,4, для которых зависимость скорости от концентрации добавки имеет максимум.

В случае использования химически инертных добавок (N_2 , CO_2 , H_2O) нормальная скорость горения богатых околопредельных ВВС монотонно падает с ростом концентрации добавки, но не более чем в 1,5 раза. При этом адиабатическая температура горения околопредельных смесей изменяется незначительно. Если добавкой является метан, нормальная скорость горения падает приблизительно в 5 раз с одновременным ростом адиабатической температуры пламени с 1200 до 2100 К (рис. 21). Результаты исследования свидетельствуют об отклоне-

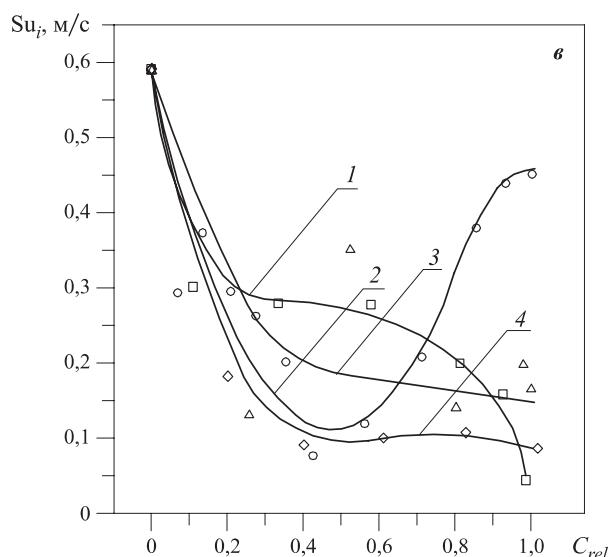
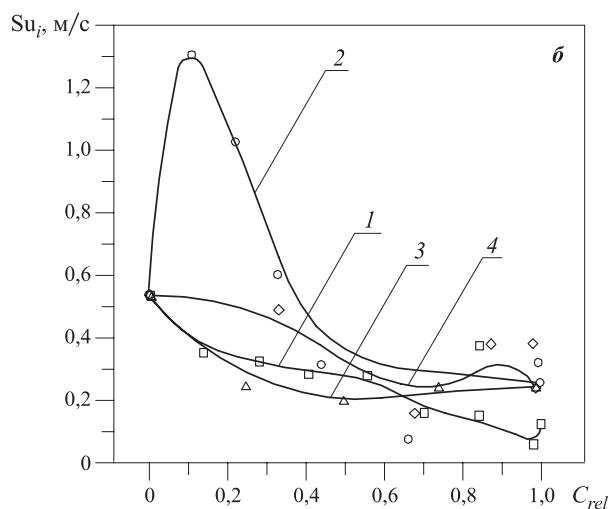
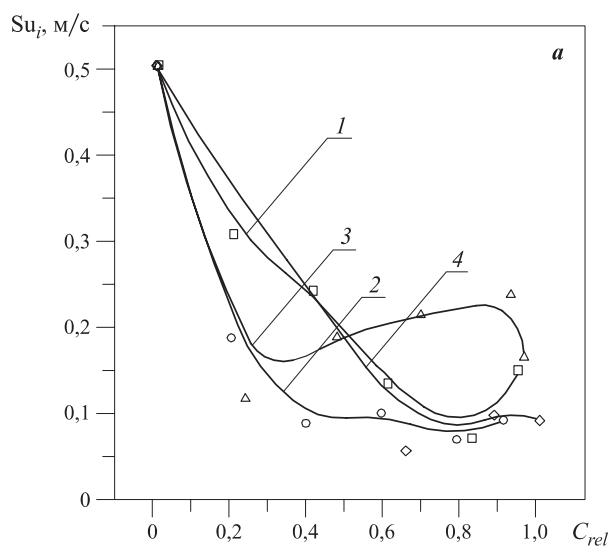


Рис. 19. Зависимость нормальной скорости распространения пламени от относительной концентрации флегматизатора при содержании кислорода в окислительной среде: *а* — 15 % (об.); *б* — 20,6 % (об.); *в* — 25 % (об.); 1 — CF_3H ; 2 — $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$; 3 — C_4F_{10} ; 4 — AKM

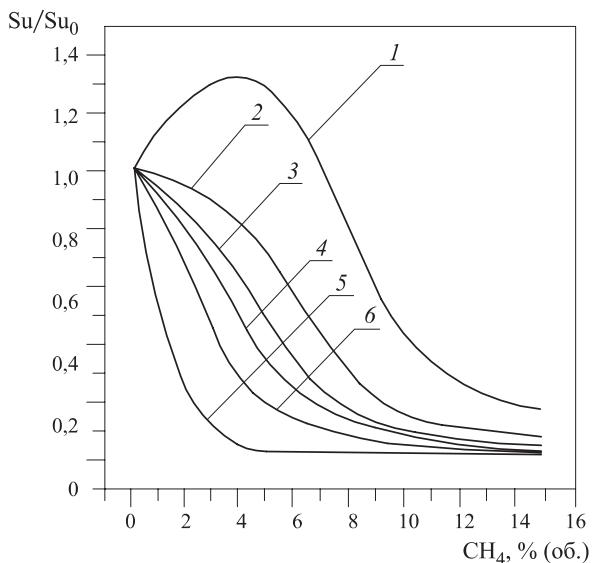


Рис. 20. Зависимость безразмерной нормальной скорости горения BBC от концентрации добавок метана CH_4 при следующих значениях коэффициента избытка горючего ϕ : 1 — 0,4; 2 — 0,6; 3 — 0,8; 4 — 1,0; 5 — 1,4; 6 — 3,0

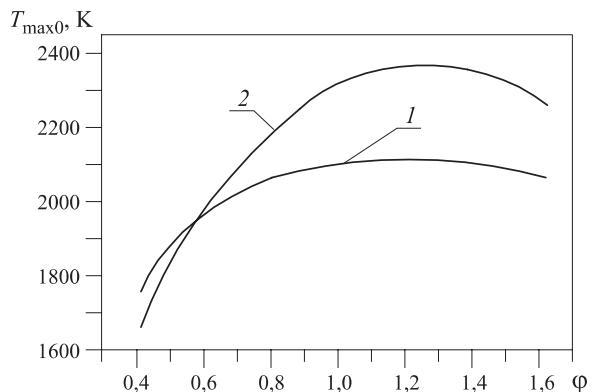


Рис. 21. Зависимость максимальной во фронте пламени адиабатической температуры горения T_{max0} для BBC (1) и метановоздушных смесей (2) от коэффициента избытка горючего ϕ

нении от эмпирического правила приближенного постоянства нормальной скорости горения околовпределенных смесей [61].

Проведены исследования особенностей развития горения и взрыва водородно-воздушной смеси в ограниченном сосуде в виде конуса вместимостью 130 л и сферической камере объемом 900 м³. Экспериментальные исследования в ограниченном сосуде показали, что скорость распространения фронта пламени, режим сгорания смеси и максимальное давление зависят от содержания водорода в смеси и от величины энергии инициирования горения. Так, было выявлено три режима протекания реакции и условия, при которых они наблюдаются:

1. Скорость распространения возмущений от фронта горения близка к скорости звука. Число Маха

фронта возмущения не более 1,1. Давление в 2–3,5 раза выше по сравнению с давлением от аналогичного взрыва гексогена в нейтральном газе (режим горения наблюдается для смесей нестехиометрического состава или при малых энергиях инициирования — менее 4,5 кДж).

2. Число Maxa фронта возмущения 1,5–2. Образование вторичного фронта горения, распространяющегося навстречу первичному и взаимодействующего с ним. Повышение давления до 20–100 атм (режим горения наблюдается для смесей околостехиометрического состава или при малых энергиях инициирования 4,5–8 кДж).

3. Сверхзвуковая скорость распространения первичного фронта горения с предшествующей ему ударной волной, имеющей переменную скорость. Возникновение в привершинной области конуса вторичного очага горения. Повышение давления до 400–1000 атм (режим горения наблюдается для смесей стехиометрического состава и при энергиях инициирования 11,5–14 кДж).

Исследования во взрывной камере диаметром 12 м и объемом 900 м³ показали, что при сгорании ВВС с содержанием 29 % водорода средняя скорость фронта пламени от центра камеры до стенок составила 70 м/с. При этом она менялась неравномерно, увеличиваясь до 250 м/с на расстоянии 4 м от центра воспламенения и уменьшаясь в 7 раз при подходе к стенке камеры. Давление реакции достигало 19 МПа. Авторами сделано предположение, что причиной такого повышения давления является возникновение вторичных очагов воспламенения и взрывов перед первичным фронтом пламени, формирование ударных волн, которые многократно взаимодействуют со стенкой и фронтом пламени за время подхода пламени к стенке [62, 63].

Изучены вопросы закономерностей изменения параметров пожаровзрывоопасности газовых смесей сложного состава в окислительных средах с различным содержанием кислорода в присутствии флегматизаторов различной химической природы для горючих газов (водород), при отсутствии самоингибирующих свойств [64]. Получены новые экспериментальные данные по КПРП в смесях горючий газ (водород) – флегматизатор – окислительная среда (смесь азота и кислорода с различным содержанием O₂), а также по параметрам взрыва указанных смесей (максимальное давление взрыва, скорость нарастания давления взрыва, нормальная скорость горения) для флегматизаторов различной химической природы. Проведено аналитическое исследование проявлений эффекта самоингибиции при формировании КПРП в сложных парогазовых смесях. Предложено усовершенствование методов расчетного определения КПРП парогазо-

вых смесей сложного состава для создания систем предотвращения возможных чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся пожарами и взрывами, на объектах различных отраслей промышленности, в том числе и на критически важных объектах.

Анализ проведенных исследований позволяет заключить, что в настоящее время достаточно подробно исследованы следующие вопросы пожароопасности водорода при нормальных условиях:

Экспериментальные исследования

1. Особенности образования взрывоопасных объемов ВВС и ВКС в замкнутых, частично ограниченных и свободных пространствах при высоких массовых скоростях поступления водорода (залповых выбросах). Определено значение участия водорода во взрыве (не более 0,5).

2. Особенности процессов флегматизации водорода наиболее часто используемыми химически инертными газами и ингибиции химически активными агентами (бромсодержащими хладонами, фторированными углеводородами, АКМTM) при различных концентрациях кислорода в окислительной среде, а также влияния процессов самоингибиции.

3. Зависимость максимального избыточного давления взрыва ВВС в закрытом сосуде от содержания водорода для перемешанных смесей.

4. Особенности дожигания водорода на каталитических сжигателях в беспламенном режиме.

5. Вопросы турбулизации фронта пламени ВВС и интенсификации горения с возрастанием взрывных нагрузок в технологических процессах с пленочным водяным охлаждением.

6. Вопросы обеспечения пожарной безопасности помещений с герметичными аккумуляторами с рекомбинацией водорода.

7. Особенности распространения пламени ВВС в загроможденном пространстве.

8. Зависимость длины вертикального диффузионного водородного факела в неподвижной атмосфере от влияния газов и паров различной химической природы (гелия, азота, диоксида углерода, пентафторэтана, ингибитора АКМ).

9. Выявление зон локального тепловыделения в диффузионных факелах и кварцевых трубках при сгорании ВВС, а также зависимости длины диффузионного водородного факела от расхода водорода.

10. Влияние малых добавок пропилена и изопропилового спирта на скорость распространения пламени ВВС в преддетонационном режиме, на переход дефлаграции в детонацию и на интенсивность горения.

11. Оценка локальных значений температуры пламени и концентрации радикала OH при диффу-

зационном горении заранее перемешанных смесей ($H_2 + O_2$) с различной концентрацией.

12. Выявление области объемных концентраций водорода (18–60 %), при которой ВВС горит с повышенной интенсивностью.

13. Характеристики горения околовпределенных богатых смесей водород – окислительная среда – флегматизатор в замкнутом сосуде при различном содержании кислорода в окислительной среде. Определение зависимостей максимального избыточного давления взрыва, максимальной скорости нарастания давления взрыва и нормальной скорости горения от концентрации флегматизатора.

14. Особенности режимов горения ВВС в сосуде вместимостью 130 л и взрывной камере объемом 900 м³.

Методы численного моделирования

1. Разработка трех моделей химической кинетики горения водорода в кислороде и трех газодинамических моделей течения реагирующей смеси за фронтом инициирующей ударной волны.

2. Вопросы распространения плоского ламинарного гомогенного газового пламени водорода с воздухом.

3. Разработка модифицированной кинетической модели горения водорода. Решение задач водородной безопасности путем моделирования процессов формирования и распространения детонационных и взрывных волн для ВВС.

4. Моделирование распространения ламинарного пламени богатой гомогенной смеси водород – воздух с добавкой пропилена. Оценка роли диффузии атомов водорода в условиях развития цепной

лавины в низкотемпературной зоне плоского одномерного богатого пламени водорода в присутствии ингибирующих добавок углеводорода.

5. Разработка численной модели для расчета дефлаграции начально-неподвижной стехиометрической ВВС в закрытом сосуде с центральным зажиганием.

6. Моделирование процесса распространения плоского ламинарного пламени в богатых гомогенных смесях водород – пропан – воздух.

7. Исследование влияния различных добавок на нормальную скорость горения водорода в воздухе с помощью моделирования распространения плоского ламинарного пламени.

Аналитическое решение

1. Механизм воспламенения водорода на первом, втором и третьем пределах воспламенения.

2. Аналитическое определение коэффициента участия водорода в горении и взрыве путем решения модельной задачи одномерной стационарной диффузии водорода из емкости через канал в атмосферу ($Z_r = 0,2743$; $Z_b = 0,1279$).

В статье рассмотрена лишь часть исследований пожарной опасности водорода, которые проведены при температуре окружающей среды и водородных смесей до начала реакции около 20 °C и начальном давлении смесей, соответствующем атмосферному. Другая часть исследований пожарной опасности водорода проведена при условиях, когда эти параметры отличаются от указанных выше значений. Анализ этих исследований будет продолжен в следующей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольченко А. Я., Шебеко Ю. Н. О проблеме обеспечения пожаровзрывобезопасности технологических процессов с участием водорода // Пожаровзрывобезопасность. — 1994. — Т. 3, № 2. — С. 40–43.
2. Семенов Н. Н. Развитие теории цепных реакций и теплового взрыва. — М. : Знание, 1969. — 95 с.
3. Макеев В. И. Безопасность объектов с использованием жидких криогенных продуктов // Пожаровзрывобезопасность. — 1992. — Т. 1, № 3. — С. 34–45.
4. Пономарев А. А., Строгонов В. В., Макеев В. И., Некрасов В. П., Бабаров В. В. Горение локального объема водорода в закрытом сосуде // Пожаровзрывобезопасность. — 1992. — Т. 1, № 3. — С. 30–33.
5. Корольченко А. Я., Цариченко С. Г., Шебеко Ю. Н., Трунев А. В., Зайцев А. А. Флегматизация водородосодержащих паровоздушных смесей при повышенных температурах и давлении // Пожаровзрывобезопасность. — 1992. — Т. 1, № 1. — С. 12–16.
6. Шебеко Ю. Н., Ильин А. Б., Иванов А. В. Экспериментальное исследование концентрационных пределов воспламенения в смесях вида водород – кислород – разбавитель // Журнал физической химии. — 1984. — Т. 58, № 4. — С. 862–865.
7. Трунев А. В., Цариченко С. Г., Шебеко Ю. Н., Келлер В. Д. Обеспечение пожаровзрывобезопасности путем применения сжигателя водорода на основе гидрофобизированных катализаторов // Химическая промышленность. — 1992. — № 1. — С. 53–55.

8. Трунев А. В., Шебеко Ю. Н., Цариченко С. Г., Зайцев А. А., Келлер В. Д. Обеспечение пожаровзрывобезопасности термокаталитического сжигания водорода путем применения огнепреградителей // Химическая промышленность. — 1993. — № 6. — С. 45–48.
9. Корольченко А. Я., Шебеко Ю. Н., Цариченко С. Г., Трунев А. В. Влияние распыленной воды на горение бедных водородовоздушных смесей в замкнутом объеме // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — М. : ВНИТИ, 1992. — № 4. — С. 76–86.
10. Трунев А. В., Шебеко Ю. Н., Цариченко С. Г. Обеспечение пожаровзрывобезопасности производственных помещений путем применения пламенного сжигателя водорода // Пожаровзрывобезопасность. — 1994. — Т. 3, № 1. — С. 35–41.
11. Шебеко Ю. Н., Ионайтис Р. Р., Цариченко С. Г., Навценя В. Ю., Трунев А. В., Зайцев А. А., Папков С. Н. Исследование распространения водородовоздушного пламени в трубе с движущейся водяной пленкой // Пожаровзрывобезопасность. — 1994. — Т. 3, № 4. — С. 3–12.
12. Азатян В. В. Основные факторы, определяющие воспламенение водорода вблизи третьего предела и горение при атмосферном давлении // Пожаровзрывобезопасность. — 1994. — Т. 3, № 4. — С. 13–20.
13. Баратов А. Н., Руднев А. В. Интенсификация распространения пламени медленногорящих газовоздушных смесей // Горение : тез. докл. X Симпозиума по горению и взрыву. — Черноголовка, 1992. — С. 157–158.
14. Гликин М. А., Тюльпинов А. Д. Распространение метановоздушного пламени в псевдосжиженном слое каталитически активного твердого материала // Физика горения и взрыва. — 1989. — Т. 25, № 5. — С. 76–79.
15. Цариченко С. Г., Шебеко Ю. Н., Корольченко А. Я., Еременко О. Я., Келлер В. Д. Влияние турбулизаторов на горение бедных водородовоздушных смесей в замкнутом сосуде большого объема // Физика горения и взрыва. — 1990. — Т. 26, № 5. — С. 76–79.
16. Шебеко Ю. Н., Корольченко А. Я., Трунев А. В., Цариченко С. Г., Простов Е. Н. Экспериментальное исследование распространения водородовоздушного пламени в засыпке из металлических шариков в трубе // Пожаровзрывобезопасность. — 1995. — Т. 4, № 4. — С. 22–25.
17. Coward H. F., Jones G. W. Flammability Limits of Gases and Vapours // Bulletin 503. Bureau of Mines. — Wash., 1952. — 144 р.
18. Шебеко Ю. Н., Ильин А. Б., Иванов А. В. Экспериментальное исследование концентрационных пределов воспламенения в смесях вида водород – кислород – разбавитель // Журнал физической химии. — 1984. — Т. 58, № 4. — С. 862–865.
19. Kumar R. K. Flammability Limits of Hydrogen-Oxygen-Diluent Mixtures // J. Fire Science. — 1985. — Vol. 3, № 4. — Р. 245–262.
20. Баратов А. Н. Проблемы обеспечения взрывобезопасности химических производств // Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. — 1982. — Т. 27, № 1. — С. 22–29.
21. Баратов А. Н. Новые средства пожаротушения // Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. — 1976. — Т. 21, № 4. — С. 369–379.
22. Masri A. R. Chemical Inhibition of Nonpremixed Flames of Hydrocarbon Fuels with CF_3Br // Combustion Science and Technology. — 1994. — Vol. 96, № 4–6. — Р. 189–212.
23. Hamins A., Trees D., Seshadri K., Chelliah H. K. Extinction of nonpremixed flames with halogenated fire suppressants // Combustion and Flame. — 1994. — Vol. 99, № 2. — Р. 221–230.
24. Копылов Н. П., Меркулов В. А., Николаев В. М. Анализ состояния средств объемного газового пожаротушения в свете решений Монреальского протокола и последующих поправок к нему // Пожарная безопасность'95 : матер. XIII Всерос. науч.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 1995. — С. 164–165.
25. Mawinney J. R., Dlugogorsky B. Z., Kim A. K. A closer look at the fire extinguishing properties of water mist // Fire Safety Science. Proceedings of the Fourth International Symposium. — Geithersburgh, Maryland, 1995. — Р. 47–60.
26. Проектирование и применение установок пожаротушения водой аэрозольного распыла : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 1991.
27. Баратов А. Н., Мышак Ю. А. Проблемы аэрозольного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 1994. — Т. 3, № 2. — С. 53–59.
28. Азатян В. В., Шебеко Ю. Н., Копылов С. Н., Навценя В. Ю., Шебеко Д. Ю. Влияние фторированных углеводородов на нормальную скорость горения водорода и метана в воздухе // Пожаровзрывобезопасность. — 2000. — Т. 9, № 2. — С. 3–7.

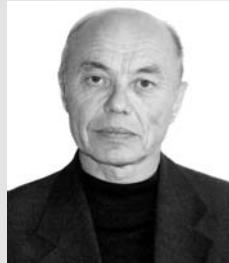
29. Азатян В. В., Шебеко Ю. Н., Копылов С. Н., Калачев В. И. Управление горением газов при помощи ингибиторов. Смесь водорода и оксида углерода как перспективное моторное топливо // Пожаровзрывобезопасность. — 2000. — Т. 9, № 3. — С. 10–13.
30. Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Навценя В. Ю., Азатян В. В. Исследование закономерностей поведения верхних ветвей кривых флегматизации при горении смесей "горючий газ – воздух – разбавитель" // Пожарная безопасность. — 2005. — № 4. — С. 65–75.
31. Азатян В. В., Борисов А. А., Мержанов А. Г., Калачев В. И., Маслова В. В., Майлков А. Е., Трошин К. Я. Ингибирование различных режимов горения водорода в воздухе пропиленом и изопропиловым спиртом // Физика горения и взрыва. — 2005. — Т. 41, № 1. — С. 3–14.
32. Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Навценя В. Ю., Томилин А. В., Азатян В. В. Исследование влияния флегматизаторов различной химической природы на длину диффузационного факела водорода в воздухе // Пожарная безопасность. — 2005. — № 6. — С. 42–49.
33. Бунев В. А. О роли диффузии атома водорода при ингибировании пламени водорода // Физика горения и взрыва. — 2006. — Т. 42, № 4. — С. 3–7.
34. Азатян В. В., Бакланов Д. И., Гордополова И. С., Абрамов С. К., Пилоян А. А. Влияние присадок олефинов на стационарную детонацию в водородовоздушных смесях // Пожарная безопасность. — 2007. — № 1. — С. 36–39.
35. Макаров Д. В., Мольков В. В. Валидация метода крупных вихрей для расчета дефлаграции стехиометрической водородовоздушной смеси в сосуде диаметром 2,3 м // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 6. — С. 7–15.
36. Копылов С. Н., Никонова Е. В. Экспериментальная оценка взрывопожарной опасности газо-выделения аккумуляторов с рекомбинацией водорода // Пожарная безопасность. — 2001. — № 2. — С. 92–100.
37. Копылов С. Н., Никонова Е. В. Влияние негерметичности на распределение водорода при малых скоростях его поступления в помещение // Пожарная безопасность. — 2001. — № 3. — С. 71–79.
38. НПБ 105–03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрыво-пожарной и пожарной опасности : утв. Приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. № 314 : ввод. в действие 1 августа 2003 г. — М. : ГУГПС, 2003.
39. Никонова Е. В. Создание методики гибкой оценки пожароопасности аккумуляторных помещений // Пожарная безопасность. — 2003. — № 2. — С. 129–131.
40. Замащиков В. В., Намятов И. Г., Бунев В. А. Особенности механизма распространения пламени в богатых смесях водород – пропан – воздух // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40, № 5. — С. 30–41.
41. Бояршинов Б. Ф., Федоров С. Ю. Измерение методом ЛИФ температуры и концентрации радикала OH при горении водорода и этанола // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40, № 5. — С. 16–20.
42. Азатян В. В., Болодъян И. А., Шебеко Ю. Н., Копылов С. Н. Особенности критических условий цепно-теплового взрыва // Физика горения и взрыва. — 2001. — Т. 37, № 5. — С. 12–23.
43. Проскудин В. Ф., Бережко П. Г., Беляев Е. Н., Тараканов В. Н., Половинкин П. Е., Лещинская А. Г. Цепно-тепловой взрыв и степень ионизации водородовоздушного пламени // Физика горения и взрыва. — 2005. — Т. 41, № 1. — С. 15–23.
44. Димитров В. И. Простая кинетика. — Новосибирск : Наука, 1982.
45. Warnatz J. Combustion Chemistry / W. C. Gardiner (Ed.). — Berlin: Springer-Verlag, 1984.
46. Tien J. H., Stalker R. J. Release of chemical energy by combustion in a supersonic mixing layer of hydrogen and air // Combust. Flame. — 2002. — № 130. — P. 329–348.
47. Skinner G. B., Ringrose G. H. Ignition delays of a hydrogen-oxygen-argon mixture at relatively low temperatures // J. Chem. Phys. — 1965. — № 42. — P. 2190–2204.
48. Schott G. L., Kinsey J. L. Kinetic studies of hydroxyl radicals in shock waves. II. Induction times in the hydrogen-oxygen reactions // J. Chem. Phys. — 1958. — № 29. — P. 1177–1188.
49. Hidaka Y., Sato K., Henmi Y. et al. Shock-tube and modeling study of methane pyrolysis and oxidation // Combust. Flame. — 1999. — № 118. — P. 340–358.
50. Cheng R. K., Oppenheim A. K. Autoignition in methane-hydrogen mixtures // Combust. Flame. — 1984. — № 58. — P. 125–139.
51. Бедарев И. А., Федоров А. В. Сравнительный анализ трех математических моделей воспламенения водорода // Физика горения и взрыва. — 2006. — Т. 42, № 1. — С. 26–33.

52. Миронов С. Г., Потапкин А. В. Исследование оптическим методом процесса вибрационного горения водорода в трубах // Физика горения и взрыва. — 2006. — Т. 42, № 1. — С. 34–38.
53. Азатян В. В., Шебеко Ю. Н., Болодьян И. А., Шебеко А. Ю., Навценя В. Ю., Томилин А. В. Характеристики горения околовпределных богатых смесей водород – окислительная среда – флегматизатор в замкнутом сосуде при различном содержании кислорода в окислительной среде // Пожарная безопасность. — 2007. — № 1. — С. 21–28.
54. Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Навценя В. Ю., Томилин А. В., Азатян В. В. Влияние содержания кислорода в окислительной среде на эффективность ингибиравания горения водорода // Пожарная безопасность. — 2006. — № 4. — С. 65–72.
55. Азатян В. В., Шебеко Ю. Н., Болодьян И. А., Шебеко А. Ю., Навценя В. Ю., Томилин А. В. Влияние ингибиторов на нормальную скорость горения богатых околовпределных смесей водород – окислительная среда – ингибитор // Пожарная безопасность. — 2007. — № 2. — С. 82–90.
56. Бунев В. А., Панфилов В. Н., Бабкин В. С. О диффузии атомов водорода в пламени водорода // Физика горения и взрыва. — 2007. — Т. 43, № 2. — С. 3–9.
57. Заев И. А., Кириллов И. А. Взрывоопасность на объектах водородной энергетики: модификация двухстадийной модели тепловыделения для моделирования детонации и последствий взрывов // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4. — С. 29–37.
58. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Воробьев Н. С. Модельная задача определения коэффициентов участия водорода в горении и взрыве // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 16–18.
59. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
60. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room // International Journal of Hydrogen Energy. — 2003. — № 28. — Р. 1019–1026.
61. Азатян В. В., Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю. Численное моделирование влияния добавок метана и химически инертных газов на нормальную скорость горения водородовоздушных смесей // Пожарная безопасность. — 2008. — № 2. — С. 41–49.
62. Особенности развития горения и взрыва водородно-воздушной смеси в больших ограниченных объемах (конус, объем 130 л) / Набоко И. М., Петухов В. А., Минеев В. Н. и др. // Химическая физика процессов горения и взрыва : XII Симпозиум по горению и взрыву. Часть III. Институт проблем химической физики РАН. — Черноголовка, 2000. — С. 10–12.
63. Крупномасштабный эксперимент по развитию взрывного процесса водородно-воздушной смеси в сферической камере объемом 900 м³ / Петухов В. А., Набоко И. М., Гуткин Л. Д. и др. // Химическая физика процессов горения и взрыва : XII Симпозиум по горению и взрыву. Часть III. Институт проблем химической физики РАН. — Черноголовка, 2000. — С. 52–53.
64. Шебеко А. Ю. Характеристики пожаровзрывоопасности газов в окислительных средах с различным содержанием кислорода при наличии флегматизаторов : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 312 с.

Материал поступил в редакцию 29 марта 2010 г.
Электронный адрес авторов: gl-v@yandex.ru.



А. Ф. Белых
аспирантка Московского
государственного строительного
университета, г. Москва, Россия



Р. З. Фахрисламов
канд. техн. наук, доцент, доцент Московского
государственного строительного
университета, г. Москва, Россия

УДК 614.841.332

ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПОТЕРЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Рассмотрена проблема снижения теплопотерь путем масштабного внедрения современных теплоизолирующих конструкций на основе высокоеффективных теплоизоляционных материалов, имеющих хорошие теплофизические свойства, широкий температурный интервал применения и продолжительный срок эксплуатации. Проанализированы показатели пожарной опасности конструкций теплоизоляции трубопроводов с учетом условий их эксплуатации. Представлена экономическая и технологическая целесообразность применения полимерной тепловой изоляции трубопроводов.

Ключевые слова: трубопроводы, теплотрассы, теплозащита, теплопередача, теплопроводность, теплоизоляция, тепловые потери, энергосбережение, теплоснабжение, тепловые сети, пенополиуретан (ППУ), бесканальная прокладка, минеральная вата, энергопотери, влагопоглощение, коэффициент теплопроводности, наземная, надземная, подземная прокладка, горючесть, горение, пожарная опасность, нефтепродукты, энергозатраты, нефть, нефтепродукты, пожар, полимеры, тепловые потоки, экономическая эффективность, резервуары, долговечность, дренаж.

В настоящее время с каждым годом увеличивается плата за энергопотребление, что связано, кроме всего прочего, с потерями тепла при транспортировании его от производителя до потребителя.

По оценкам специалистов до 70 % тепла не доходит до потребителей, из них 40 % теряется в теплоцентралях и 30 % — непосредственно в домах. На первый взгляд, эти цифры выглядят неправдоподобно завышенными. Однако следует напомнить, что основной объем теплотрасс был построен или реконструирован в 1970–1980 годы, и в настоящий момент износ теплосетей и сопутствующих инженерных сооружений во многих регионах России приблизился к критическому уровню и составляет не более 75 %. Это становится причиной участившихся утечек теплоносителя на теплосетях (трубопроводах) и аварий, массовых отключений теплоснабжения жилых, промышленных и гражданских зданий.

Представляется очевидным, что проблема снижения теплопотерь может быть решена лишь путем масштабного внедрения современных теплоизолирующих конструкций на основе высокоеффективных теплоизоляционных материалов [1].

В настоящее время высокоеффективными материалами, применяемыми в качестве теплозащиты, являются пенопласты. Они имеют низкую плотность ($20\text{--}100 \text{ кг}/\text{м}^3$) и теплопроводность ($0,025\text{--}0,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$), широкий температурный интервал применения (от -180 до $+150^\circ\text{C}$) и продолжительный срок эксплуатации (более 30 лет), что позволит снизить теплопотери на 55–60 %, повысить производительность труда на 15–50 % и улучшить санитарно-гигиенические условия при производстве строительно-монтажных работ [2].

В то же время следует отметить, что за последние 40–50 лет нормативные значения тепловых потерь через изолированные поверхности ограждений зданий, промышленного оборудования и трубопроводов тепловых сетей практически не изменились. Несмотря на общемировую тенденцию энергосбережающей направленности развития энергетики, значения этих характеристик в 2–3 раза выше соответствующих показателей в европейских странах, где климат более мягкий, чем в России. Лишь в последние годы положение с энергосбережением начало меняться: в 3,5 раза повышенены нормативные значения теплопотерь ограждающих конструкций

© Белых А. Ф., Фахрисламов Р. З., 2010

зданий и существенно снижены нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность оборудования и трубопроводов, что стало возможно благодаря развитию новых энергосберегающих технологий и материалов [3].

Анализ роли тепловой изоляции в решении проблемы энергосбережения в строительстве показал, что в настоящее время потери тепла на объектах строительного комплекса России составляют:

- через изолированные поверхности существующих промышленных сооружений, оборудования и трубопроводов — 356 млн Гкал в год, или 65 млн т условного топлива в год (т. у. т. в год);
- через изоляцию теплопроводов тепловых сетей — 324 млн Гкал в год, или 59,5 млн т у. т. в год.

По приблизительным оценкам только повышение теплозащитных свойств теплоизолирующих конструкций промышленных сооружений, оборудования и теплопроводов, систем централизованного теплоснабжения и ограждений зданий в состоянии обеспечить в рамках программы энергосбережения к 2010 г. экономию энергоресурсов в объеме 40 млн т у. т.

Для того чтобы восполнить потери тепла через изоляцию ограждающих конструкций, требуется существенное улучшение системы энергосбережения, так как затраты тепла на отопление жилых, общественных и промышленных зданий достигают 1340 млн Гкал в год, или 240 млн т у. т. в год. Общие потери тепловой энергии на объектах строительного комплекса составляют в настоящее время около 2,020 млрд Гкал в год, или 364,5 млн т у. т. в год.

Вследствие интенсивного воздействия тепло-влажностных и механических факторов окружающей среды, недостаточного внимания к качеству проектирования, выбору теплоизоляционных материалов и методов монтажа теплозащитные свойства теплоизолирующих конструкций в процессе эксплуатации снижаются, что приводит к значительным сверхнормативным потерям тепла и низкой степени энергосбережения в России.

Эксплуатационные тепловые потери через существующие теплоизолирующие конструкции значительно превышают расчетные, что требует немедленных мер по внедрению современных энергосберегающих технологий и материалов. Так, например, в промышленной изоляции оборудования и трубопроводов тепловые потери превышают нормативные в 1,25–1,3 раза, а в тепловых сетях — в 2 раза.

Одной из наиболее эффективных современных энергосберегающих технологий является применение в качестве теплоизоляционного материала пенополиуретана (ППУ) [3]. Существенным отличием ППУ от традиционных минераловатных изоляционных материалов является то, что он практически

не впитывает влагу и, следовательно, не меняет своих теплоизоляционных характеристик в течение эксплуатационного срока.

Влагопоглощение минеральной ваты достигает 300 % и более, в результате чего теплоизоляционные характеристики конструкций с ней начинают снижаться с первых же месяцев их эксплуатации, что не только приводит к чрезмерным потерям тепла, но и вызывает преждевременный выход трубопроводов из строя в результате ускоренной коррозии их наружной поверхности. На таких трубопроводах уже с 3–4-го года работы начинаются аварийные ремонтные работы [4].

Основным видом прокладки тепловых сетей в России традиционно является подземная (84 %). Бесканальная прокладка занимает 6 %, надземная — 10 %.

При прокладке теплосетей в каналах основным теплоизоляционным материалом являются изделия на основе минеральной ваты (маты и плиты), объем которых достигает 90 %. Доля цилиндров из минеральной и стеклянной ваты составляет не более 0,1 %.

Массовое применение такого способа прокладки и указанных теплоизоляционных материалов привело к тому, что у 80 % тепловых сетей превышен срок безаварийной службы, более 30 % тепловых сетей находится в ветхом состоянии и требует ремонта [5].

Современные трубопроводы в пенополиуретановой изоляции имеют ряд преимуществ:

- повышение сроков эксплуатации с 10–15 до 25–30 и более лет;
- снижение теплопотерь с 40 до 5 %;
- сокращение расходов на эксплуатацию теплосетей в 9–10 раз.

Примечание. Тип изоляции (т. е. толщина слоя пенополиуретана) зависит от географического расположения района прокладки теплотрассы.

Пенополиуретан — самая эффективная тепло-, гидро- и звукоизоляция. Уникальные свойства жестких пенополиуретанов позволяют на теплотрассах:

- уменьшить энергопотери в теплосетях в 3,5 раза;
- снизить годовые затраты на их эксплуатацию в 10 раз, а на текущий ремонт — более чем в 3 раза;
- увеличить срок эксплуатации трубопроводов до 30 лет;
- сократить капитальные затраты в 2–3 раза [4].

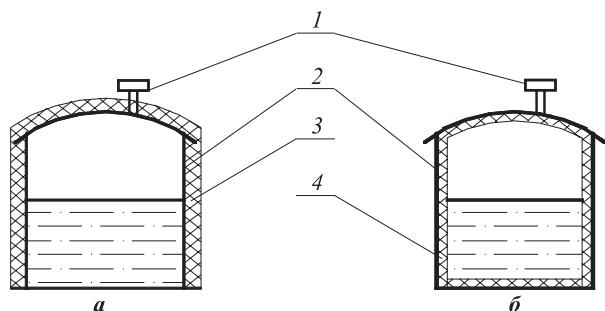
На данный момент для технологических установок применяют наружную теплоизоляцию в основном только из негорючих материалов. Так, при теплозащите резервуаров типа РВС с высоковязкими нефтепродуктами используется наружная теплозащита. Именно к наружному применению относятся ограничения в области применения горючих поли-

мерных теплоизоляционных материалов. При тепловом воздействии на резервуары, независимо от вида хранимого продукта, происходит повышение парциального давления паров в газопаровоздушной среде, и чем выше температура теплового воздействия и степень пожаровзрывоопасности хранимого продукта, тем выше давление избыточных паров в газопаровоздушной среде. Особенно это опасно для легкоиспаряющихся продуктов, хранящихся в емкостях. При отсутствии дыхательной или предохранительной арматуры давление может возрасти выше критического, что может привести к разрушению емкости. На практике же происходит выброс в атмосферу через соответствующие дыхательные устройства, что приводит к загазованности и повышенной пожаровзрывоопасности окружающей среды, а также к большим потерям нефтепродуктов.

С целью обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации резервуаров для нефти и нефтепродуктов представляет интерес нанесение теплоизоляционного покрытия не на наружную, а на внутреннюю поверхность резервуара.

Наружная теплоизоляция резервуаров имеет ряд недостатков:

- усадка и слеживаемость теплоизоляционного материала в процессе эксплуатации и, как следствие, увеличение теплопроводности и теплопотерь;
- трудоемкость и низкая производительность монтажных работ;
- выполнение монтажа теплозащиты только в сухую и теплую погоду в целях предотвращения попадания атмосферной влаги на теплозащитный материал;
- коррозия металлоконструкций резервуара под теплоизоляцией;
- сложность проведения диагностики состояния резервуара;
- образование пирофорных отложений на внутренних конструкциях резервуара;



Тепловая изоляция резервуаров: *a* — традиционный способ; *б* — предлагаемый способ; 1 — дыхательная арматура; 2 — корпус резервуара; 3 — наружная тепловая изоляция из негорючих материалов; 4 — внутренняя тепловая изоляция из горючего полимерного материала

- большие эксплуатационные расходы по обслуживанию резервуара;
- пропитывание теплоизоляционного материала нефтепродуктами из-за перелива или образования микротрещин в корпусе резервуара, что в свою очередь приводит к потере теплозащитных свойств и переходу теплоизоляционного материала из группы негорючих материалов в группу горючих;
- сложность ликвидации возможных пожаров вследствие:
 - невозможности охлаждения стенки (корпуса) резервуара;
 - быстрого нагрева нефтепродукта за счет передачи тепла от стенки резервуара;
 - увеличения массовой скорости выгорания нефтепродукта в единицу времени;
 - сокращения времени до вскипания или выброса нефтепродукта;
 - снижения времени “живучести” резервуара.

Для ослабления нагрева резервуара под действием температуры окружающей среды и сокращения выброса паров (“малые дыхания”) из резервуара в атмосферу теплоизоляцию не применяют. Следовательно, сокращение выброса паров в атмосферу не может быть аргументом для использования на резервуаре теплоизоляции, но может дать дополнительный эффект в случае применения внутренней теплоизоляции.

Потери нефтепродуктов от “малых дыханий” зависят от их частоты, времени года и температуры окружающей среды. Так, в резервуаре РВС-5000 с нефтью потери за сутки достигают порядка 380 кг бензиновой фракции, что составляет 12650 руб. в сутки.

Таким образом, предлагаемый способ считается принципиально новым и имеет следующие преимущества:

- защита металла от коррозии и образование пирофорных отложений, а также исключение воздействия агрессивной среды на внутренние конструкции резервуара;
- возможность проведения диагностики состояния корпуса без разборки конструкции теплоизоляции резервуара или опорожнения его от нефтепродукта;
- сокращение энергозатрат на поддержание заданных температур для высоковязких нефтей и нефтепродуктов;
- снижение загазованности территории резервуарных парковарами нефтепродуктов за счет выброса последних через дыхательную арматуру;
- долговечность теплоизолирующей конструкции;
- возможность визуального контроля за утечкой нефти или нефтепродукта через микротрешины;

- возможность применения традиционных способов тушения пожаров, т. е. тушения как нетеплоизолированных РВС;
- технико-экономическая целесообразность.

Предлагаемый способ теплозащиты резервуаров позволяет значительно сократить ежегодные эксплуатационные расходы и обеспечить экологическую безопасность окружающей среды [9].

Технические требования к материалам и конструкциям

При монтаже и эксплуатации теплоизолирующие конструкции подвергаются температурным, влажностным, механическим, в том числе вибрационным, воздействиям.

К теплоизоляционным материалам и конструкциям предъявляются следующие общие технические требования:

- теплотехническая эффективность;
- эксплуатационная надежность и долговечность;
- пожарная и экологическая безопасность.

Основными показателями, характеризующими физико-технические и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являются: плотность, теплопроводность, температуростойкость, сжимаемость и упругость (для мягких материалов), прочность на сжатие при 10 %-ной деформации (для жестких и полужестких материалов), вибростойкость, формостабильность, горючесть, водостойкость и стойкость к воздействию химически агрессивных сред, содержание органических веществ и биостойкость.

Эффективность теплоизоляции в значительной степени зависит от коэффициента теплопроводности используемого материала. Этот показатель определяется целым рядом факторов, в первую очередь составом и структурой материала, его плотностью, воздухопроницаемостью, влажностными показателями, условиями эксплуатации и их влиянием на свойства материала.

Теплотехническая эффективность конструкций тепловой изоляции определяется в первую очередь коэффициентом теплопроводности теплоизоляционного материала, который определяет требуемую толщину теплоизолирующего слоя, а следовательно, и нагрузки на изолируемый объект, а также конструктивные и монтажные характеристики конструкции. Расчетные значения коэффициента теплопроводности принимаются с учетом его зависимости от температуры, степени уплотнения теплоизоляционных материалов в конструкции, швовности конструкции и наличия крепежных деталей. При выборе теплоизоляционного материала учитывают его температуростойкость, возможную линейную усадку, потери прочности и массы, степень выгорания связующего при нагреве. Кроме того, учитыва-

ются прочностные и деформационные характеристики изолируемого объекта, допустимые нагрузки на опоры и изолируемые поверхности и другие факторы.

Долговечность теплоизолирующих конструкций зависит от их конструктивных особенностей и условий эксплуатации, включающих местоположение изолируемого объекта, режим работы оборудования, степень агрессивности окружающей среды, интенсивность механических воздействий. Долговечность теплоизоляционного материала и теплоизолирующей конструкции в целом в значительной степени определяется долговечностью защитного покрытия.

Требования пожарной безопасности определяются нормами технологического проектирования конкретных отраслей промышленности с учетом положений СНиП 41-03-2003 “Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов”. При выборе материалов учитываются не только показатели горючести теплоизолирующего слоя и защитного покрытия, но и поведение теплоизолирующей конструкции в условиях пожара в целом. Наряду с другими факторами, пожарная опасность конструкций зависит от температуростойкости защитного покрытия и его механической прочности в условиях огневого воздействия [6].

Теплоизоляция трубопроводов и оборудования должна соответствовать требованиям безопасности и защиты окружающей среды.

Для трубопроводов надземной прокладки при использовании теплоизолирующих конструкций из горючих материалов групп Г3 и Г4 следует предусматривать:

- вставки длиной 3 м из негорючих материалов не более чем через 100 м длины трубопровода;
- участки теплоизолирующих конструкций из негорючих материалов на расстоянии не менее 5 м от технологических установок, содержащих горючие газы и жидкости.

При пересечении трубопроводом противопожарной преграды следует предусматривать теплоизолирующие конструкции из негорючих материалов в пределах размера противопожарной преграды.

При использовании конструкций теплопроводов с теплоизоляцией из горючих материалов в негорючей оболочке допускается не делать противопожарные вставки [7].

Требования действующих нормативных документов исключают применение полимерных материалов в конструкциях промышленной теплоизоляции.

В связи с изложенным для научно обоснованного применения материала возникает необходимость в разработке методики оценки пожарной опасности конструкций теплоизоляции и их поведения в усло-

виях, моделирующих реальный пожар и учитывающих эксплуатационные условия, которые в первом приближении отражены в классификации промышленной теплоизоляции.

Классификация промышленной теплоизоляции

Применение материалов в конструкциях тепловой изоляции по показателям пожарной опасности производится так же, как и для других веществ и материалов. Номенклатура показателей пожарной опасности, а также методика их определения изложены в ГОСТ 12.1.044–89 и ГОСТ 30244–94.

Однако, как было отмечено ранее, необходимо рассматривать пожарную опасность конструкций теплоизоляции с учетом условий их эксплуатации.

Согласно существующим строительным нормам (СНиП 41-03–2003) в качестве тепловой изоляции для промышленных трубопроводов разрешается применять в основном негорючие материалы. Область применения полимерных пенопластов, относящихся к горючим материалам, резко ограничена: они могут использоваться только при покровном слое из оцинкованной стали для трубопроводов, содержащих горючие вещества с температурой минус 40 °C и ниже, в наружных технологических установках. Однако следует отметить, что нормирование теплоизолированных конструкций только по показателю горючести материалов не всегда соответствует реальному уровню их пожарной опасности. Один и тот же материал ведет себя по-разному в зависимости от конкретных условий его эксплуатации, которые необходимо учитывать в случае применения полимерных материалов [7].

Кроме того, при использовании полимерных материалов в качестве теплоизоляции не всегда учитываются специфические особенности конструкций, а именно: различные варианты сочетаний теплоизолирующего и защитно-покровного слоев, пространственное расположение конструкций, которое может быть не только горизонтальным, но и вертикальным, а также под углом к горизонту. В каждом из этих вариантов поведение теплоизолированных конструкций в условиях реального пожара будет различным.

Так, скорость распространения пламени по вертикали всегда больше, чем по горизонтали, так как интенсивные тепловые потоки, возникающие у фронта горения, способствуют нагреву вышележащих участков поверхности и отводят тепло от участков, расположенных по горизонтали. Толщина теплоизолирующего слоя также влияет на пожарную опасность конструкций.

При малой толщине покровного слоя на скорость распространения пламени решающее влияние оказывает теплопроводность подстилающего

слоя: горючие обои, наклеенные на бетонную стену или металл, практически не распространяют пламя, а наклеенные на древесину или пенобетон — распространяют.

Таким образом, в настоящее время отсутствует четкое дифференцированное нормирование признаков предельного состояния теплоизолированных конструкций трубопроводов в зависимости от их функционального назначения. Поэтому для объективной оценки применимости полимерных материалов в качестве теплоизоляции промышленных трубопроводов необходимо разработать специальный метод, учитывающий все особенности их эксплуатации и позволяющий оценить количественные параметры достижения конструкциями предельного состояния в условиях реального пожара [2].

Экономический эффект, получаемый за счет применения теплоизоляции, рассчитывается для каждого элемента теплоизоляции, а именно:

- трубопроводов (нефтепроводов, паропроводов, водопроводов, теплопроводов и т. д.);
- аппаратов и оборудования:
- резервуаров.

В соответствии с федеральной целевой программой (ФЦП) “Энергоэффективная экономика на 2002–2005 гг. и на перспективу до 2010 г.” предполагается в случае реализации подпрограммы “Энергоэффективность в ЖКХ” сэкономить 35–38 млн т у. т. энергоресурсов стоимостью около 24 млрд руб. (в ценах 2001 г.). Экономический эффект после компенсации затрат на создание энергосберегающих мощностей может составить порядка 14 млрд руб.

В настоящее время, по данным Чувашской Республики, экономия средств при безаварийном сроке службы трубопроводов составляет порядка 62 млн руб. в год. Годовой экономический эффект вследствие увеличения срока службы теплопроводов и сокращения теплопотерь составляет 0,46 млн руб. на 1 км трубопровода [8].

Экономическая эффективность применения теплоизоляции на нефтяных резервуарах типа РВС-5000 позволяет, по данным Уфимского нефтеперерабатывающего завода, достичь положительных результатов при их эксплуатации, а именно:

- улучшается экологическая обстановка в резервуарном парке за счет ликвидации “малых дыханий”;
- снижается коррозионный износ резервуара;
- улучшаются условия эксплуатации резервуара в зимний период за счет стабильности температуры нефти, отсутствия образования снегового слоя с наледью;
- для высокосернистых нефтей отсутствует образование пирофорных отложений, что в свою очередь приводит к повышению скорости откачивания нефти;

- снижается пожарная опасность резервуара за счет отсутствия “малых дыханий”, отсутствия образования пирофорных отложений на стенках резервуара, достижения в определенной степени молниезащиты;
- снижаются потери легких фракций нефти;
- при возникновении по каким-либо причинам пожара улучшаются тактические особенности его тушения.

Предварительные экономические расчеты позволили определить, что в процессе эксплуатации резервуаров типа РВС-5000 с нефтью в течение года за счет “малых дыханий” происходит выброс в атмосферу порядка 120 т в год высокооктановой бензиновой фракции (кроме ксилола, толуола, углеводородов, сероводорода и керосина — порядка 120 т). В пересчете на бензин А-95 (рыночная цена 1 л 25 руб.) потери составляют порядка 4,1 млн руб. [8].

К перспективным направлениям развития теплоизоляции следует отнести следующие:

1. Внедрение в практику проектирования и строительства новых эффективных теплоизоляционных материалов и конструктивно-технических решений, обеспечивающих снижение тепловых потерь в оборудовании и трубопроводах.

Приоритетными направлениями развития теплоизоляции являются: разработка и внедрение новых видов эффективных теплоизоляционных материалов, новых конструктивных решений теплоизоляции и совершенствование нормативно-правовой базы в этой области.

В конструкциях теплоизоляции необходимо расширять применение современных высокоеффективных теплоизоляционных изделий из полимерных материалов.

2. Разработка методик и проведение исследований по определению эксплуатационной надежности и долговечности теплоизоляционных материалов и конструкций.

Долговечность и эксплуатационная надежность теплоизоляционных материалов в конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов также, как и в ограждающих конструкциях зданий, должна определяться в зависимости от вида конструкций и условий эксплуатации на основании долговременных наблюдений и обследований эксплуатируемых конструкций.

3. Совершенствование нормативной базы в области промышленной и строительной тепловой изоляции. Ускорение разработки предусмотренных законом “О техническом регулировании” технических регламентов и национальных стандартов в области тепловой изоляции и теплоизоляционных материалов. Гармонизация их с международными стандартами.

В связи с расширением номенклатуры современных теплоизоляционных материалов, перспективой вступления России в ВТО и последующего продвижения отечественной продукции на зарубежные рынки актуальным является приведение отечественной нормативной базы в области теплоизоляционных материалов в соответствие с международными (ISO) и европейскими (EN) стандартами. Выработка общих требований и проведение испытаний материалов по идентичным методикам будут способствовать более эффективному использованию их как в России, так и за рубежом.

4. Организация систематического контроля за выполнением требований нормативной документации в области теплоизоляции в промышленности и строительстве.

В заключение следует сказать, что повышение энергоэффективности изолируемых объектов, совершенствование нормативной базы, а также методов и средств расчета и проектирования тепловой изоляции, расширение номенклатуры и повышение качества применяемых теплоизоляционных и покровных материалов являются реальным вкладом в решение проблемы энергосбережения и экономии топливно-энергетических ресурсов в энергетике, промышленности и ЖКХ России [6].

Таким образом, в сложившейся ситуации в стране тратятся гигантские средства на содержание некачественных и ненадежных тепловых сетей с фактическими тепловыми потерями до 50 %, с утечками теплоносителя, во много раз превышающими нормы, принятые в развитых странах.

Фактический срок службы трубопроводов (магистральных сетей — 12–15 лет, распределительных и квартальных сетей — 7–8 лет) значительно ниже нормативного (25 лет), что увеличивает в несколько раз затраты, приведенные к году эксплуатации.

Конструкции теплопроводов с пенополиуретаном, применяемые в странах Западной Европы более 40 лет, позволили ряду стран (Дания, Швеции, Норвегии и др.) преодолеть энергетический кризис 70-х годов и показали высокую надежность.

Безусловно, при использовании новых, более надежных конструкций может незначительно возрастти первоначальная стоимость тепловых сетей по сравнению с традиционными. Однако за счет их долговечности (более 25 лет), надежности, минимизации тепловых потерь (менее 2 %), сокращения сроков строительства стоимость работ по прокладке, приведенная к одному году эксплуатации, уменьшается на 20–30 %. Поэтому одним из основных факторов экономической эффективности применения новых конструкций следует считать не их первоначальную стоимость, а повышение надежности и увеличение срока службы трубопроводов, снижение затрат на их техническое обслуживание (в 9 раз).

Конструкция трубопроводов тепловых сетей с пенополиуретановой изоляцией выгодно отличается от тепловых сетей с другими видами теплоизоляции еще и тем, что она имеет систему оперативного дистанционного контроля (ОДК), стоимость которой не превышает 1,5 % от стоимости тепловой сети. Ее наличие позволяет своевременно устанавливать и устранять возникающие дефекты (увлажнение пенополиуретана) и тем самым предотвращать аварии, типичные для тепловых сетей других конструкций. Кроме того, при этом нет необходимости в защите от ближайших токов, а также в устройстве дренажа.

В качестве недостатков трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией следует отметить горючность, дымообразующую способность и токсичность выделяемых при горении продуктов, а также ограниченную предельную температуру применения (130 °C). Однако эти недостатки, присущие практически всем органическим материалам, не имеют никакого значения, если учесть рекомендуемые области их применения — подземную бесканальную прокладку (основной объем), в тоннелях и надземную прокладку с оцинкованным стальным защитным покрытием. Как показали исследования, проведенные органами пожарной безопасности, при использовании в качестве защитного покрытия оцинкованной стали трубопроводы с пенополиуретановой изоляцией не распространяют пламя и не являются пожароопасными.

Сравнительная оценка экономической эффективности теплотрассы с пенополиуретановой изоляцией по сравнению с традиционными приведена в таблице.

Оценка экономической эффективности 1 км двухтрубной теплотрассы (диаметром 159 мм)

Показатель	Значение показателя при прокладке теплотрассы		
	бесканальной		в канале
	ППУ	Армопенобетон (АПБ)	Минеральная вата
Стоимость прокладки, USD (долл. США)	101400	105300	145089
Тепловые потери в год:	Гкал USD	349 5330	581 8800 418 6400
Сверхнормативные потери	Нет	Есть	Есть
Нормативный срок службы, лет		25–30	15 12–15
Система контроля увлажнения теплоизоляции	Есть	Нет	Нет

Данные, приведенные в таблице, подтвердили расчеты сотрудников ТЭК г. Санкт-Петербурга, согласно которым из многочисленных теплоизоляционных материалов, применявшимся для тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, наиболее эффективным является пенополиуретан, дающий на 1 п. м 30 руб. экономии.

Поменять все износившиеся трубы тепловых сетей на надежные и долговечные конструкции в ближайшие годы нереально, но стремиться к этому, хотя бы при строительстве новых объектов и при больших объемах ремонта и реконструкции, необходимо. В этом заключается единственная возможность избежать “подземный Чернобыль”, как выразился известный специалист в этой области директор базового центра Госстроя РФ В. С. Ромейко [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Строительный эксперт [газета]. — 2003. — № 17. — 20 с.
- Шарипова С. А. Пожарная опасность промышленных трубопроводов с тепловой изоляцией : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2004. — 186 с.
- Энергосбережение / Компания “СТС” (“Современные трубопроводные системы”). — Жуковский, МО, 2005–2010.
- Теплоизолированные трубы / ООО “СКЭТ”. — Снежинск, 2001.
- Майзель И. Л., Петров-Денисов В. Г. Долговечно и экономично // Пенополиуретан. — 2002. — № 1–2.
- Шойхет Б. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов // Коммунальный комплекс России. Трубы. — Январь 2007 г. — № 1(31).
- СНиП 41-03–2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов : утв. Госстроем России 26 июня 2003 г. : ввод. в действие 1 ноября 2003 г. — М. : ГП ЦПП, 2004.
- Пенополиуретан [производственный и научно-популярный журнал]. — Апрель 2002 г. — № 6.
- Фахрисламов Р. З., Корольченко А. Я. Тепловая изоляция как способ снижения пожарной опасности резервуаров / Строительство — формирование среды жизнедеятельности (секция № 6). — М. : МГСУ, 2010.

Материал поступил в редакцию 30 апреля 2010 г.
Электронный адрес авторов: aliya-ahunova@mail.ru.



В. М. Ройтман
д-р техн. наук, профессор Московского
государственного строительного
университета, г. Москва, Россия



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

УДК 614.841

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С УЧАСТИЕМ ПОЖАРА

Рассматриваются проблемы обеспечения безопасности зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара. Приводятся основы теории стойкости конструкций и зданий при такого рода воздействиях. Рассматривается возможность применения этой теории для проведения оценки стойкости объектов из железобетонных конструкций при СНЕ с участием пожара. Даются предложения по учету особенностей обеспечения безопасности людей в зданиях и сооружениях при СНЕ с участием пожара при оценке риска.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение здания, огнестойкость, комбинированные особые воздействия типа удар – взрыв – пожар, риск.

Введение

Проблема обеспечения безопасности зданий и сооружений при ЧС с участием пожара во всем мире является весьма актуальной, так как строительный комплекс представляет собой один из самых уязвимых видов объектов для такого рода воздействий [1–3].

Различные здания и сооружения по-разному ведут себя при воздействии пожара. Одни из них хорошо сопротивляются опасным факторам пожара и при воздействии пожара сохраняют свою конструктивную целостность и функциональное назначение в течение времени, достаточного для эвакуации, спасения людей, ликвидации пожара и его последствий.

Другие здания и сооружения при пожаре быстро утрачивают свою конструктивную целостность (вплоть до прогрессирующего обрушения), перестают соответствовать своему функциональному назначению, что приводит к тяжелым человеческим жертвам и огромному материальному ущербу.

Изучение проблемы обеспечения необходимого сопротивления зданий и сооружений в условиях ЧС с участием пожара, разработка способов ее решения являются в настоящее время составной частью современного инновационного развития МГСУ и Академии ГПС МЧС России в научном, прикладном и образовательном аспектах [1–6].

Время сопротивления объекта до потери его устойчивости при воздействии пожара — это глав-

ный показатель, обеспечивающий безопасность людей в этих условиях.

В данной работе рассматриваются результаты исследований, проводимых в Центре комплексной безопасности строительных систем МГСУ совместно с Академией ГПС МЧС России в научном направлении “Оценка стойкости объектов при комбинированных особых воздействиях с участием пожара”, в том числе связанных с террористической угрозой [1–6].

1. Характерные примеры различного поведения зданий и сооружений при воздействии пожара

Поведение Останкинской телевизионной башни во время пожара 27 августа 2000 г. [3]. Останкинская телевизионная башня была построена в 1967 г. по проекту гениального советского и российского ученого и инженера Н. В. Никитина. Высота башни — 533 м. Основная конструкция башни — пустотелая железобетонная коническая оболочка с сильно развитым основанием. Толщина кольцевых стенок ствола башни — 350–400 мм. Верхняя часть башни (с отметкой 385 м) выполнена в виде стальной телескопической трубы высотой 148 м.

По всей высоте башни оболочка ее ствола обжата предварительно напряженной канатной арматурой, которая устанавливалась на специальных опорах с внутренней поверхности ствола. Система на-

прягаемых канатных элементов была запроектирована открытой и располагалась внутри ствола башни, на расстоянии 2–5 см от внутренней поверхности его стенки.

Пожар на Останкинской телевизионной башне начался 27 августа 2000 г. (рис. 1) в районе отметок +454...+430 м антенной части башни. Распространение огня происходило сверху вниз до отметки +80 м.

Во время пожара на Останкинской телевизионной башне специалистам, противопожарным службам и инженерам пришлось столкнуться с проблемой оценки ее устойчивости и ответить на вопрос: потеряет ли башня свою устойчивость, произойдет ли прогрессирующее обрушение ее во время пожара или непосредственно после него либо такой опасности нет (рис. 2)?

От ответа на этот вопрос зависел целый комплекс весьма ответственных решений, в том числе о



Рис. 1. Пожар на Останкинской телебашне, г. Москва, 27 августа 2000 г.

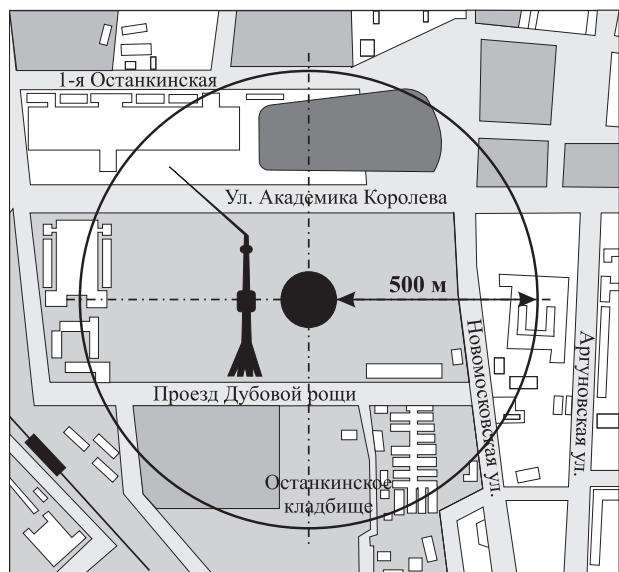


Рис. 2. Зона возможного падения обломков Останкинской телевизионной башни в случае утраты ею устойчивости при пожаре 27 августа 2000 г.

срочной эвакуации людей из зоны возможного падения обломков башни.

Оценки специалистов по этому вопросу разделились, но, в конце концов, возобладало мнение, что башня устоит и прогрессирующего обрушения ее не произойдет. Это непростое решение оказалось верным — прогрессирующего обрушения башни действительно не произошло. Его удалось избежать благодаря принятию правильных решений по обеспечению огнестойкости ствола башни.

Фактический предел огнестойкости ствола башни по потере несущей способности составляет более 180 мин. Этот предел огнестойкости с запасом обеспечил необходимое сопротивление башни при воздействии реального пожара, температурный режим которого был более “мягким” по сравнению с режимом “стандартного” пожара.

Именно огнестойкость ствола башни обеспечила конструктивную целостность этого сооружения во время пожара. Это позволило продолжить эксплуатацию башни до восстановления большинства предварительно напряженных канатов внутри ствола, которые утратили при пожаре свое функциональное назначение.

Поведение здания Пентагона во время событий 11 сентября 2001 г. [3–5]. Здание Пентагона является одним из самых больших офисных зданий в мире. Площадь одного этажа составляет 613 тыс. м². Здание пятиэтажное, имеет пять фасадов. Внутри здание выполнено в виде пяти концентрических колец (рис. 3). Конструкции — монолитный железобетон. Бетон — обычный тяжелый. Перекрытия состоят из плит, ригелей и системы балок, опирающихся на колонны.

Большая часть колонн имеет квадратное сечение. Размеры сечения колонн на первом этаже — 0,53 × 0,53 м. Почти все колонны имеют спиральное армирование по вертикальной рабочей арматуре.



Рис. 3. Общий вид здания Пентагона и направление движения самолета перед столкновением со зданием [2]



Рис. 4. Прогрессирующее обрушение наружного кольца здания Пентагона во время событий 11 сентября 2001 г.

Предел огнестойкости такого рода колонн по потере несущей способности составляет более 180 мин.

Столкновение самолета с рассматриваемым зданием во время событий 11 сентября 2001 г. произошло в зоне 1-го этажа наружного фасада здания (см. рис. 3) и привело к возникновению комбинированных особых воздействий типа *удар – взрыв – пожар* (СНЕ IEF).

Первое особое воздействие — удар (I) — привело к разрушению и повреждению части конструктивных элементов 1-го этажа наружного кольца здания Пентагона. Обломки самолета проникли внутрь здания. Из разрушенных баков самолета, размещенных в его крыльях, топливо было выброшено внутрь здания в зону удара. Это привело к возникновению второго особого воздействия на конструкции здания — взрыва (E) смеси топлива с воздухом. Взрывом была разрушена и повреждена еще часть конструктивных элементов здания. После удара и взрыва внутри здания, в зоне поражения, возникает и развивается третье особое воздействие — пожар (F). Огонь охватывает при этом часть уцелевших “ключевых” конструктивных элементов.

Здание Пентагона в первые минуты СНЕ IEF, несмотря на значительные повреждения конструкций в трех первых кольцах здания, в целом сохранило свою устойчивость.

Однако через 19 мин после начала комбинированного особого воздействия типа *удар – взрыв – пожар* произошло прогрессирующее обрушение конструкций наружного кольца здания Пентагона в зоне СНЕ IEF (рис. 4).

Таким образом, несмотря на то что предел огнестойкости ключевых элементов здания Пентагона (несущих колонн) по потере несущей способности превышал **180 мин**, наружное кольцо здания Пентагона в зоне ЧС утратило свою устойчивость через **19 мин**.

Поведение башен Всемирного торгового центра во время событий 11 сентября 2001 г. [2–6]. Аналогичным образом развивались события 11 сентября 2001 г. в Нью-Йорке, во время террористической атаки на башни Всемирного торгового центра (ВТЦ).

Высота башен составляла 415 и 417 м. В плане каждая башня имела форму квадрата размерами $63,5 \times 63,5$ м [2–5]. Несущие конструкции башен были выполнены из металла и имели пределы огнестойкости по потере несущей способности с учетом огнезащиты **180 мин**.

Несмотря на высокий предел огнестойкости несущих конструкций, потеря устойчивости этих башен во время событий 11 сентября произошла гораздо быстрее: Южная башня (ВТЦ-2) утратила свою устойчивость через **56 мин**, а Северная башня (ВТЦ-1) — через **102 мин** после начала пожара.

Явление повышения интенсивности развития аварийно-опасных процессов на строительных объектах при комбинированных особых воздействиях с участием пожара

Рассмотренные выше precedents свидетельствуют о том, что во время комбинированных особых воздействий с участием пожара наблюдаются явления повышения интенсивности развития аварийно-опасных процессов на строительных объектах [1–6]. Эти явления и приводили к преждевременной потере устойчивости зданий в рассматриваемых условиях по сравнению с сопротивлением (огнестойкостью) строительных объектов воздействию только пожара.

Очевидно, что возникновение этих, ранее не учитывавшихся, опасных явлений связано с особенностями комбинированных особых воздействий с участием пожара.

Понятие о комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара

Комбинации рабочих (эксплуатационных) нагрузок и форс-мажорных дополнительных нагрузок на строительные объекты во время чрезвычайных ситуаций предлагается называть *комбинированными особыми воздействиями*. В качестве аббревиатуры этого понятия был предложен английский вариант СНЕ — от названия Combined Hazardous Effect [2]. В работах [1–6] были сформулированы определения для понятий такого рода:

Особое воздействие на объект — исключительное воздействие, резко отличающееся от обычных условий существования объекта. Основные особые воздействия техногенного характера на строительные объекты: удар (I), взрыв (E), пожар (F), нагрузка (S) и т. д.

Комбинированное особое воздействие (СНЕ) — чрезвычайная ситуация, связанная с возникновением и развитием нескольких видов особых воздействий на объект в различных сочетаниях и последовательности.

Комбинированные особые воздействия с участием пожара — чрезвычайные ситуации, связанные с возникновением и развитием нескольких видов особых воздействий на объект в различных сочетаниях и последовательности, причем одним из таких воздействий является пожар.

Например:

- при рассмотрении угрозы прогрессирующего обрушения здания при столкновении с ним самолета необходимо рассматривать комбинированное особое воздействие типа *удар – взрыв – пожар* (СНЕ IEF — от Combined Hazardous Effect of the Impact-Explosion-Fire Type [3]);
- при аварии на Чернобыльской АЭС имели место СНЕ типа *взрыв – удар – пожар* и т. д.

2. Теоретические подходы к оценке сопротивления конструкций и зданий при ЧС с участием пожара

Теория огнестойкости конструкций и зданий

Особый характер опасности воздействия пожара на здания и сооружения подтверждается тем, что в международных нормах по пожарной безопасности зданий и сооружений введены специальные показатели, характеризующие способность объектов сопротивляться воздействию пожара, причем в этих показателях главной характеристикой, обеспечивающей безопасность людей в этих условиях, является *время сопротивления объектов* в явном виде.

Показатель, характеризующий способность строительных конструкций сопротивляться воздействию пожара, в отечественных нормах [7–13] называется *пределом огнестойкости*. Показатель, который характеризует способность здания в целом сопротивляться воздействию пожара, называется *степенью огнестойкости*.

С помощью этих показателей в нормах регламентируется время, в течение которого конструкции, здания и сооружения должны сопротивляться комбинированным воздействиям рабочих нагрузок и высокотемпературного фактора пожара.

Необходимость решения комплекса научных и инженерных задач по оценке огнестойкости зданий и сооружений стимулировала развитие комплекса международных исследований, результаты которых сложились в теорию огнестойкости [7–12].

Принципы расчета строительных конструкций на огнестойкость были заложены в работах В. И. Му-

рашева, А. И. Яковлева, А. Ф. Милованова, К. Kordina, T. Hartmann и др. [7–13].

Сущность расчета конструкций на огнестойкость заключается в определении момента времени, по истечении которого в условиях воздействия пожара конструкции утрачивают свою несущую или теплоизолирующую способность.

Огнестойкость конструкции по признаку потери несущей способности $\Pi_\phi(R)$ определяется как момент времени воздействия пожара τ , при котором несущая способность $\Phi[T(\tau)]$ конструкции под действием температуры пожара $T(\tau)$ снижается до величины действующих на нее рабочих нагрузок $N_h(M_h)$.

Огнестойкость конструкции в этом случае определяется из условия:

$$\text{если } \Phi[T(\tau)] \leq N_h(M_h), \text{ то } \tau = \Pi_\phi(R), \quad (1)$$

где N_h, M_h — соответственно продольная сила и изгибающий момент от нормативной рабочей нагрузки.

Расчеты строительных конструкций на огнестойкость являются одной из разновидностей расчета конструкций по предельным состояниям [7–11].

Например, при расчетах строительных конструкций на огнестойкость используется *коэффициент условий работы материала конструкции при пожаре* γ_T [7–13]. Этот коэффициент учитывает особенности изменения сопротивления обычных строительных материалов при их нагреве в условиях пожара.

В соответствии с этим подходом коэффициент условий работы материалов обычных конструкций при пожаре представляет собой зависимость между сопротивлением материалов $R(T)$ и температурой их прогрева T .

В относительном виде эта зависимость имеет вид:

$$\gamma_T = R(T)/R = f(T), \quad (2)$$

где $R(T)$ — прочность материала при температуре T ; R — начальная прочность материала.

Зависимости типа (2) были получены в результате многолетних специальных экспериментальных исследований [7–13] для всех основных строительных материалов. Эти исследования показывают, что сопротивление обычных материалов строительных конструкций при прогреве в условиях пожара после определенной температуры начинает быстро уменьшаться. В настоящее время эти зависимости используются в качестве справочных данных при расчетах строительных конструкций на огнестойкость [7–13].

Огнестойкость строительных конструкций в ряде случаев можно оценивать также с помощью

другого показателя — *критической температурой прогрева материалов* T_{kp} в условиях пожара.

Критической температурой прогрева материала конструкции при пожаре называется такая температура его нагрева, при которой материал утрачивает способность сопротивляться воздействию пожара.

Понятие критической температуры прогрева материалов конструкций является одним из базовых показателей, используемых в теории расчета строительных конструкций на огнестойкость [7–13].

При использовании этого показателя расчет строительных конструкций на огнестойкость также включает в себя решение двух задач:

1) *прочностной задачи огнестойкости*: определение нормативной рабочей нагрузки на рассматриваемую конструкцию, затем соответствующего значения коэффициента условий работы материалов конструкции при пожаре и, далее, значения их критической температуры нагрева при данном уровне рабочей нагрузки;

2) *теплофизической задачи огнестойкости*: определение момента времени воздействия пожара на строительную конструкцию, при котором ключевые элементы конструкции прогреваются до критической температуры.

Например, при расчетах пределов огнестойкости изгибаемых железобетонных конструкций по потере несущей способности решение задачи сводится к определению времени воздействия пожара τ , в течение которого температура рабочей арматуры расстоянной зоны конструкции $T_s(\tau)$ достигает критического значения T_s^{cr} .

Тогда предел огнестойкости конструкции по признаку утраты несущей способности R определяется из следующего условия:

$$\text{если } T_s(\tau) \geq T_s^{cr}, \text{ то } \tau = \Pi_\Phi(R), \quad (3)$$

где $T_s(\tau)$ — температура прогрева рабочей арматуры расстоянной зоны изгибающего железобетонного элемента в момент времени τ развития пожара;

T_s^{cr} — критическая температура прогрева рабочей арматуры расстоянной зоны конструкции; $\Pi_\Phi(R)$ — значение предела огнестойкости конструкции по потере несущей способности.

Таким образом, особенностью теории расчета пределов огнестойкости строительных конструкций является то, что коэффициент условий работы и критическая температура нагрева материала конструкции при оценке пределов огнестойкости конструкций имеют фиксированные значения, соответствующие расчетному уровню нормативной рабочей нагрузки на эту конструкцию.

Теория стойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара

Как было показано выше, во время событий 11 сентября 2001 г. имели место явления повышения интенсивности развития аварийно- опасных процессов на строительных объектах при СНЕ с участием пожара [1–6]. Эти явления и приводили к преждевременной потере устойчивости зданий по сравнению с сопротивлением строительных объектов воздействию только пожара.

Результаты исследований инженерных аспектов событий 11 сентября 2001 г. [1–6] дают представление о том, что при комбинированных особых воздействиях с участием пожара имеют место следующие характерные особенности в состоянии и поведении строительных объектов:

а) возникает несколько групп конструкций, имеющих различную степень повреждения;

б) конструкции с различной степенью повреждения утрачивают свою несущую способность не одновременно, а в различные моменты времени развития ЧС;

в) на различных стадиях развития ЧС, по мере последовательного выхода из строя более поврежденных групп несущих конструкций, нагрузка на оставшиеся конструкции возрастает;

г) повышение нагрузки на уцелевшие строительные конструкции на соответствующих стадиях развития СНЕ с участием пожара приводит к развитию опасного эффекта — снижения критической температуры нагрева конструкций. Особая опасность этого эффекта для зданий и сооружений определяется очевидным выражением о том, что чем ниже критическая температура прогрева конструкций, тем быстрее они утрачивают свою несущую способность в условиях СНЕ с участием пожара и тем быстрее наступает потеря устойчивости (прогрессирующее обрушение) здания в целом в этих условиях;

д) соответственно, снижение критической температуры нагрева конструкций приводит к *повышению интенсивности развития аварийно- опасных процессов на строительных объектах при СНЕ с участием пожара*.

В связи с этим возникает необходимость разработки более общих методов оценки времени сопротивления объектов при ЧС, которые давали бы возможность учитывать специфику СНЕ с участием пожара. Результаты проведенных исследований [1–6] позволяют рассматривать их как основы *теории стойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара*.

Основой теории стойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара послужила общность методиче-

ских и физических принципов, лежащих в основе представлений о долговечности и огнестойкости объектов, а также кинетической концепции прочности [1–6, 13].

Сформулируем основные понятия, используемые в этой теории:

Стойкость конструкции при СНЕ с участием пожара ($\tau_{\text{СНЕ}, R}$) — время, в течение которого конструкция сохраняет свои несущие, ограждающие функции в условиях комбинированных особых воздействий СНЕ с участием пожара.

Стойкость здания при СНЕ с участием пожара ($D_{\text{СНЕ}, R}$) — время, в течение которого здание в целом сопротивляется воздействию опасных факторов СНЕ с участием пожара без потери общей устойчивости и геометрической неизменяемости. Стойкость здания при СНЕ с участием пожара определяется стойкостью его основных конструкций в этих условиях.

Суть предлагаемого метода оценки стойкости зданий при СНЕ с участием пожара заключается в расчете изменения во времени несущей способности различных характерных групп структурных элементов объекта и нагрузок на них при заданном сценарии СНЕ с участием пожара, с учетом особенностей поведения материалов конструкций в рассматриваемых условиях.

Особенности поведения материалов конструкций при проведении оценки стойкости конструкций и зданий при СНЕ с участием пожара можно учитывать в виде эффекта *уменьшения критической температуры нагрева материалов конструкций при СНЕ с участием пожара* [1–6].

В таком сложном объекте, как здание или сооружение, может быть несколько уровней структурных элементов, в которых процесс накопления нарушений структуры и деформаций может приводить к наступлению их предельного состояния в виде потери их несущей способности.

С учетом вышеизложенного *прогрессирующее обрушение объекта* — это последняя лавинообразная стадия развивающегося во времени процесса последовательного исчерпания стойкости различными структурными элементами объекта, что приводит к потере общей устойчивости объекта в целом.

Источники СНЕ могут иметь весьма широкий диапазон характеристик опасных воздействий. В весьма широких пределах могут также изменяться и сценарии СНЕ.

В связи с этим все многообразие воздействий СНЕ на здание предлагается выражать через последствия этих воздействий на состояние “ключевых” конструктивных элементов здания, которые определяют его устойчивость в этих условиях.

Ключевые конструктивные элементы здания при СНЕ — конструктивные элементы здания, играющие определяющую роль в обеспечении общей устойчивости и геометрической неизменяемости здания в рассматриваемых условиях.

В качестве “ключевых” конструктивных элементов, исходя из конструктивных схем современных зданий, могут рассматриваться: колонны, несущие стены, рамы и т. д.

Все “ключевые” конструктивные элементы рассматриваемого здания разбиваются на несколько характерных групп в зависимости от их состояния в условиях СНЕ и способности этих элементов сопротивляться СНЕ.

С учетом различной стойкости характерных групп “ключевых” конструктивных элементов при СНЕ процесс исчерпания стойкости здания при заданном сценарии СНЕ будет происходить “постадийно”, в результате последовательной утраты стойкости различными выделенными характерными группами “ключевых” конструктивных элементов.

Наличие этих процессов приводит к необходимости рассмотрения ряда расчетных стадий развития СНЕ. Каждая из выделенных расчетных стадий развития СНЕ будет соответствовать утрате стойкости при СНЕ определенной характерной группой “ключевых” конструктивных элементов.

Стойкость строительной конструкции при комбинированных особых воздействиях определяется временем $\tau_{\text{СНЕ}}$ от начала комбинированного особыго воздействия (СНЕ) до момента, когда несущая способность конструкции $R_{\text{СНЕ}}$ становится недостаточной для восприятия нагрузки $S_{\text{СНЕ}}$, приложенной к ней на различных стадиях СНЕ.

Стойкость конструкции при СНЕ $\tau_{\text{СНЕ}, R}$ определяется из условия:

$$\text{если } R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}}) < S_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}, R}), \\ \text{то } \tau_{\text{СНЕ}} = \tau_{\text{СНЕ}, R}. \quad (4)$$

Здание в целом исчерпает свою стойкость к прогрессирующему разрушению $D_{\text{СНЕ}, R}$ и потеряет свою устойчивость при выбранном сценарии СНЕ с участием пожара, если все характерные группы “ключевых” конструктивных элементов здания исчерпают свою стойкость при СНЕ (достигнут своего предельного состояния по потере несущей способности) на какой-либо из расчетных стадий СНЕ.

Время $\tau_{\text{СНЕ}}$, когда это произойдет, и будет определять фактическую стойкость здания к прогрессирующему обрушению $D_{\text{СНЕ}, R}$ для выбранного сценария СНЕ.

Например, стойкость объекта при СНЕ с участием пожара, если в качестве ключевых конструкций рассматриваются сжатые элементы, можно определить из выражения:

если $\sum_k^k R_k^i(\tau_{\text{CHE}}^i) < \sum N$, то $\tau_{\text{CHE}}^i = D_{\text{CHE},R}^{\text{act}}$, (5)

где $\sum_k^k R_k^i(\tau_{\text{CHE}}^i)$ — суммарная несущая способность “ключевых” сжатых конструктивных элементов объекта, всех характерных групп k к концу расчетной стадии i ;

τ_{CHE}^i — время комбинированного особого воздействия СНЕ к моменту окончания расчетной стадии i ;

$\sum N$ — суммарная сжимающая нагрузка на “ключевые” сжатые конструктивные элементы объекта.

Здание сохранит определенную долю своей стойкости и не будет полностью разрушено при заданном сценарии СНЕ, если отдельные группы “ключевых” конструктивных элементов здания не исчерпают своей стойкости (не достигнут предельного состояния по потере несущей способности) после рассмотрения всех расчетных стадий СНЕ. В этом случае здание сохранит свою целостность, но получит тот или иной уровень повреждений.

Возможность сохранения зданием своей целостности при заданном сценарии СНЕ определяется из условия:

если $\tau_{\text{CHE}} < \tau_{\text{CHE},R}$, то $D_{\text{CHE},R} > \tau_{\text{CHE}}$. (6)

Предлагаемый подход может быть использован для решения двух типов задач:

прямой задачи — оценки стойкости здания к прогрессирующему обрушению при различных сценариях СНЕ;

обратной задачи — определения допустимого числа “ключевых” конструкций здания, которые могут быть разрушены или повреждены при СНЕ, исходя из заданной (нормируемой) стойкости здания к прогрессирующему обрушению $D_{\text{CHE},R}^{\text{req}}$. Нормируемый уровень стойкости здания определяется исходя из допустимых уровней рисков, безопасности людей и сохранения целостности здания.

Предлагаемые теория и методы оценки стойкости зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара дают возможность достичь любого уровня детализации исходной модели здания или сооружения и расчетного сценария развития комбинированных особых воздействий с участием пожара.

3. Особенности оценки состояния и поведения строительных объектов при комбинированных особых воздействиях с участием пожара

Решение такого рода задач относится к решению так называемых “обратных” задач (см. выше) и

производится по заданному (известному) сценарию развития СНЕ с участием пожара, т. е. в этом случае стойкость объекта $D_{\text{CHE},R}^{\text{act}}$ при известном (или заданном) сценарии СНЕ с участием пожара известна или задана.

В качестве метода решения такого рода задач используется метод последовательного приближения. Реализация метода последовательного приближения в рассматриваемом случае производится по следующей схеме:

1. Выделяются “ключевые” конструкции объекта, которые определяют сопротивление объекта в целом при СНЕ с участием пожара.

2. Выделенные “ключевые” конструкции объекта в соответствии со сценарием СНЕ с участием пожара разбиваются на характерные группы k .

3. Время развития СНЕ с участием пожара разбивается на расчетные стадии n .

4. В качестве первого приближения задаются некоторыми начальными значениями состояния “ключевых” конструкций в каждой из характерных групп k при СНЕ с участием пожара.

5. Определяется стойкость $(\tau_{\text{CHE},R})_n^k$ (время сопротивления) каждой из характерных групп k “ключевых” конструкций на каждой расчетной стадии n развития СНЕ с участием пожара.

6. Определяется расчетная стойкость объекта $D_{\text{CHE},R}$ при принятых начальных значениях состояния ключевых элементов $\sum (\tau_{\text{CHE},R})_n^k = D_{\text{CHE},R}$.

7. Проверяется условие соответствия:

$$D_{\text{CHE},R} = D_{\text{CHE},R}^{\text{act}}$$

Если условие $D_{\text{CHE},R} = D_{\text{CHE},R}^{\text{act}}$ не выполняется, то задается следующее приближение по состоянию

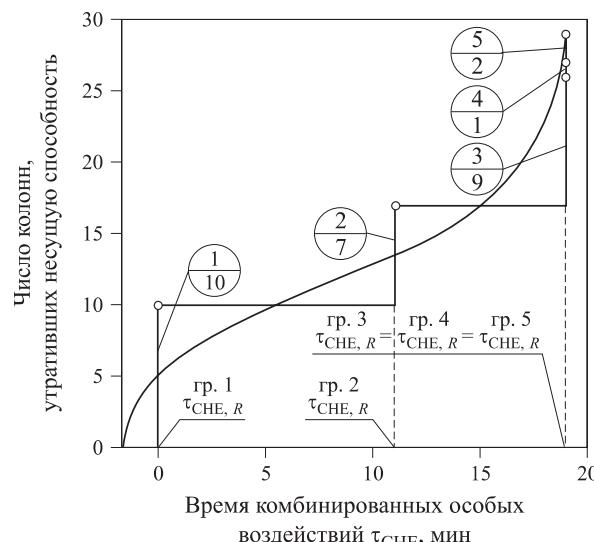


Рис. 5. Реконструкция изменения числа “ключевых” конструкций наружного кольца здания Пентагона, утративших свою несущую способность до начала прогрессирующего обрушения этой части здания, во время событий 11 сентября 2001 г.

“ключевых” конструкций в каждой из характерных групп k при СНЕ с участием пожара. Все последующие приближения формируются таким образом, чтобы обеспечивать уменьшение разницы между величинами, входящими в условие соответствия, до требуемого допустимого значения.

Вариант состояния “ключевых” конструкций объекта в каждой из характерных групп k при СНЕ с участием пожара, когда выполняется условие $D_{\text{СНЕ}, R} = D_{\text{СНЕ}, R}^{\text{act}}$, является решением рассматриваемой обратной задачи.

На рис. 5 представлены результаты оценки изменения состояния и поведения “ключевых” конструкций здания Пентагона до начала прогрессирующего обрушения наружного кольца здания при СНЕ с участием пожара во время событий 11 сентября 2001 г. [1, 3–5].

4. Особенности оценки стойкости железобетонных колонн при СНЕ с участием пожара

Оценка стойкости железобетонных колонн при комбинированных особых воздействиях с участием пожара заключается в определении изменения несущей способности колонны $R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ и нагрузок на нее $N_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ на каждой из расчетных стадий развития СНЕ, с учетом особенностей изменения прочностных характеристик бетона и арматуры колонны в рассматриваемых условиях.

Несущая способность железобетонных колонн при СНЕ в значительной степени зависит от изменения сопротивления бетона и арматуры в рассматриваемых условиях. Учет этих изменений предлагается производить путем использования специальных коэффициентов условий работы этих материалов при комбинированных особых воздействиях с участием пожара $\gamma_{s, ief}$ и $\gamma_{b, ief}$.

Отличие этих коэффициентов условий работы от коэффициентов условий работы материалов в условиях пожара заключается в том, что приходится учитывать изменение рабочей нагрузки на характерные группы “ключевых” конструкций в процессе развития СНЕ с участием пожара.

В ряде случаев целесообразно использовать при оценке изменения несущей способности конструкций при СНЕ с участием пожара показатель критической температуры прогрева материалов конструкций при СНЕ с участием пожара. В этом случае необходимо учитывать эффект уменьшения критической температуры нагрева материала конструкции в рассматриваемых условиях.

Аналогично методам расчета конструкций на огнестойкость [9–13] можно использовать для коэффициента условий работы бетона при СНЕ с участием пожара упрощенную аппроксимацию: $\gamma_{b, ief} = 1$

при $T_b \leq T_b^{cr}$, $\gamma_{b, ief} = 0$ при $T_b > T_b^{cr}$. Фактически это соответствует тому, что площадь бетона колонн $A_b(\tau_{\text{СНЕ}})$ в условиях СНЕ, прогретая до температур менее критической, не снижает своей прочности, а бетон, прогретый до температур выше критической, теряет прочность и полностью выключается из работы [3–5].

Тогда расчет изменения несущей способности железобетонной колонны, нагруженной центрально приложенной силой и подвергаемой СНЕ по заданному сценарию, производится с помощью выражения

$$R_{ief}(\tau_{\text{СНЕ}}) = \varphi(\tau_{\text{СНЕ}}) \times \\ \times [R_b A_b(\tau_{\text{СНЕ}}) + R_{sc} \gamma_{s, ief}(\tau_{\text{СНЕ}}) A_{s, tot}], \quad (7)$$

где $\varphi(\tau_{\text{СНЕ}})$ — коэффициент продольного изгиба колонны на момент времени $\tau_{\text{СНЕ}}$;

$A_b(\tau_{\text{СНЕ}})$ — площадь сечения бетона колонны, сохранившего свою прочность на момент времени $\tau_{\text{СНЕ}}$, м^2 ;

$A_{s, tot}$ — площадь сечения арматуры колонны, м^2 ;

R_b — начальное сопротивление бетона, МПа;

R_{sc} — начальное сопротивление арматуры, МПа;

$\gamma_{s, ief}(\tau_{\text{СНЕ}})$ — коэффициент условий работы арматуры при СНЕ с участием пожара на момент времени $\tau_{\text{СНЕ}}$.

Если на какой-либо из расчетных стадий развития СНЕ несущая способность колонны $R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ становится равной уровню нагрузок на нее $N_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ или меньше его, то колонна достигает своего предельного состояния по потере несущей способности. Момент времени СНЕ $\tau_{\text{СНЕ}}$, когда это условие выполняется, и определяет искомое значение стойкости колонны при СНЕ:

$$\text{если } R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}}) \leq N_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}}), \text{ то } \tau_{\text{СНЕ}} = D_{\text{СНЕ}, R}^{\text{act}}, \quad (8)$$

где $D_{\text{СНЕ}, R}^{\text{act}}$ — фактическая стойкость колонны при СНЕ, мин.

Если после рассмотрения всех расчетных стадий развития СНЕ несущая способность колонны $R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ превышает уровень нагрузок на нее $N_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}})$, то колонна сохраняет некоторый остаточный ресурс несущей способности и не достигает своего предельного состояния по потере несущей способности, т. е.

$$R_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}}) - N_{\text{СНЕ}}(\tau_{\text{СНЕ}}) = \Delta R_{\text{СНЕ}}^{\text{res}}(\tau_{\text{СНЕ}}), \quad (9)$$

где $\Delta R_{\text{СНЕ}}^{\text{res}}(\tau_{\text{СНЕ}})$ — остаточный ресурс несущей способности колонны на момент времени $\tau_{\text{СНЕ}}$.

Целью расчета, таким образом, является определение для заданного сценария СНЕ значения стойкости колонны при СНЕ или значения запаса несущей способности колонны по отношению к нагрузкам, которые на нее действуют в рассматриваемых условиях.

5. Вопросы обеспечения безопасности людей при СНЕ с участием пожара с учетом повышения интенсивности развития аварийно-опасных процессов в этих условиях

Рассмотренные выше прецеденты свидетельствуют о том, что при СНЕ с участием пожара наблюдаются ранее не учитывавшиеся явления повышения интенсивности развития аварийно-опасных процессов на строительных объектах при СНЕ с участием пожара.

Эти явления приводят к преждевременной потере устойчивости зданий в рассматриваемых условиях по сравнению с сопротивлением строительных объектов воздействию только пожара, к массовой гибели людей, огромному материальному ущербу.

Возникает острая необходимость рассмотрения вопроса обеспечения безопасности людей с учетом особенностей СНЕ с участием пожара. Особенно большое значение имеет решение этого вопроса при оценке пожарного риска.

Основные особенности СНЕ с участием пожара, с точки зрения обеспечения безопасности людей, заключаются в том, что в этих условиях:

1. Возникает несколько зон с различным уровнем опасности для людей:

а) зона непреодолимой опасности, в которой отсутствует возможность эвакуации и спасения людей;

б) зона, где люди подвергаются воздействию опасных факторов СНЕ с участием пожара. В этой зоне отсутствует возможность своевременной эвакуации людей, а речь может идти только об их спасении;

в) зона, где люди в течение определенного времени не подвергаются воздействию опасных факторов пожара. В этой зоне возможна организация эвакуации людей как самостоятельного движения людей из зоны, где возможно воздействие опасных факторов, в зону, где оно отсутствует.

2. Процедура обеспечения безопасности людей может включать несколько этапов в зависимости от местоположения человека относительно зоны СНЕ с участием пожара. Например, люди в башнях всемирного торгового центра в Нью-Йорке, оказавшиеся выше зоны СНЕ с участием пожара, во время событий 11 сентября 2001 г. должны были:

- сначала эвакуироваться, двигаясь сверху вниз (до границы зоны СНЕ);
- затем спасаться через зону СНЕ;
- после этого они могли опять нормально эвакуироваться от зоны СНЕ до выхода из здания;
- на последнем этапе движения, на выходе из здания, эти люди вновь должны были спасаться,

подвергаясь опасности попасть под падающие сверху обломки.

3. Время обеспечения безопасности людей на строительных объектах при СНЕ с участием пожара, кроме ОФП, ограничено временем сопротивления объекта при СНЕ с участием пожара, т. е. его стойкостью в этих условиях.

Эти особенности обеспечения безопасности людей в зданиях и сооружениях при СНЕ с участием пожара необходимо учитывать при оценках риска СНЕ с участием пожара. Это можно делать, например, путем введения специальных показателей в известные методики [14] оценки вероятности обеспечения безопасности людей.

Заключение

Проблема обеспечения безопасности зданий и сооружений при ЧС с участием пожара является в нашей стране весьма актуальной, так как строительный комплекс представляет собой один из самых уязвимых видов объектов для такого рода воздействий.

Изучение этой проблемы, разработка способов ее решения являются в настоящее время составной частью современного инновационного развития МГСУ и Академии ГПС МЧС России в научном, прикладном и образовательном аспектах [1–4].

В Центре комплексной безопасности строительных систем МГСУ совместно с Академией ГПС МЧС России проводится комплекс исследований в научном направлении “Оценка стойкости объектов при комбинированных особых воздействиях с участием пожара”, в том числе связанных с террористической угрозой [1–4].

В результате проведения этих исследований были выявлены и нашли научное объяснение явления повышения интенсивности развития аварийно-опасных процессов на строительных объектах при СНЕ с участием пожара.

Эти явления и приводят к преждевременной потере устойчивости зданий в рассматриваемых условиях по сравнению с сопротивлением строительных объектов воздействию только пожара.

Возникшая необходимость разработки более общих методов оценки времени сопротивления объектов, которые давали бы возможность учитывать специфику СНЕ с участием пожара, привела к разработке [4] основ более общей, по сравнению с теорией огнестойкости, теории стойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара.

В данной работе рассматриваются:

- возможности применения этой теории для оценки стойкости объектов из железобетонных конструкций при СНЕ с участием пожара;

- особенности решения обратных задач по оценке состояния и поведения конструкций объектов при СНЕ с участием пожара;
- предложения по учету особенностей обеспечения безопасности людей в зданиях и сооружениях при СНЕ с участием пожара при оценке риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теличенко В. И., Ройтман В. М. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара — базовый элемент системы комплексной безопасности // Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации : материалы 1-го Национального конгресса "Комплексная безопасность в строительстве 2010", г. Москва, ВВЦ, 18–21 мая 2010 г. — Вып. 9. — М., 2010.
2. Roytman V. M., Pasman H. J., Lukashevich I. E. The Concept of Evaluation of Building Resistance against Combined Hazardous Effects "Impact-Explosion-Fire" after Aircraft Crash // Fire and Explosion Hazards : Proceedings of the Fourth International Seminar. — NI, UK, Londonderry, 2003. — P. 283–293.
3. Ройтман В. М. Основы пожарной безопасности высотных зданий : учебное пособие. — М. : МГСУ, 2009. — 107 с.
4. Ройтман В. М., Приступюк Д. Н. Оценка стойкости высотных зданий против прогрессирующего разрушения при комбинированных особых воздействиях // Тезисы межрегиональной конференции "Проектирование инженерных систем и безопасности высотных зданий" (Санкт-Петербург, 28–30 мая 2008 г.). — СПб : ОАО "ЛЕННИИПРОЕКТ", 2008. — С. 57–73.
5. Приступюк Д. Н., Ильина Е. А., Ройтман В. М. Оценка стойкости железобетонных колонн при комбинированных особых воздействиях с участием пожара (на примере поведения здания Пентагона во время событий 11 сентября 2001 г.) // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : научные труды 12-й Межд. межвуз. науч.-практич. конф. молодых ученых, докторантов и аспирантов (МГСУ, 15–22 апреля 2009 г.). — М. : Изд-во АСВ, 2009. — С. 512–516.
6. Финогенова В. В., Родионов Е. А., Ройтман В. М. Влияние эффекта изменения критической температуры прогрева конструкций башен Всемирного торгового центра на их устойчивость во время событий 11 сентября 2001 г. // Междунар. науч.-техн. конф. студентов : сб. докл. (МГСУ, 15–19 марта 2010 г.). — М. : МГСУ, 2010. — С. 139–142.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
8. СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 172 : ввод. в действие 01.05.2009. — М. : ВНИИПО, 2009.
9. Бушев В. П., Пчелинцев В. А., Федоренко В. С., Яковлев А. И. Огнестойкость зданий. — М. : Стройиздат, 1970.
10. Бартелеми Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1985.
11. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1988.
12. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. — М. : Стройиздат, 1986.
13. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 381 с.
14. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрирован в Министерстве РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 10.05.2010).

Материал поступил в редакцию 10 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: dmidob@hotbox.ru.



В. С. Ватагин
канд. хим. наук, старший научный
сотрудник, профессор Ивановского
института ГПС МЧС России,
г. Иваново, Россия



В. П. Жуков
д-р техн. наук, профессор
Ивановского государственного
энергетического университета (ИГЭУ), г. Иваново, Россия



Е. В. Барочкин
д-р техн. наук, профессор
Ивановского государственного
энергетического университета (ИГЭУ), г. Иваново, Россия



А. А. Власюк
аспирант ФГОУ ВПО Государственного
технологического университета "Московский
государственный институт
стали и сплавов", г. Москва, Россия

УДК 621.039

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ УТЕЧЕК ПОЖАРООПАСНЫХ, ВРЕДНЫХ И ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

На основе теории цепей Маркова предложена методика расчета полей концентраций вредных и токсичных веществ в закрытых помещениях; разработан подход к распознаванию класса опасности утечек вредных и токсичных веществ; сформулирована многокритериальная задача оптимизации системы распознавания и предложено ее решение с использованием алгоритмов Парето.

Ключевые слова: моделирование, системы распознавания утечек пожароопасных, вредных и токсичных веществ, теория цепей Маркова, алгоритмы Парето.

Постановка и решение задач раннего обнаружения утечек вредных и токсичных веществ и своевременного предотвращения их последствий актуальны для целого ряда отраслей промышленности, которые производят или используют такие вещества в технологическом процессе.

Предлагаемая система распознавания утечек позволяет решать последовательно две задачи. На первом этапе, который будем называть решением прямой задачи, выполняется расчет полей концентраций ключевых компонентов при заданных источниках их утечек. На втором этапе, который будем называть решением обратной задачи, по значениям концентрации веществ в отдельных точках распознаются мощность и места утечек, а также класс их опасности.

Сначала остановимся на решении прямой задачи. Изменение во времени концентрации ключевого компонента вдоль оси x описывается уравнением конвективной диффузии [1] в виде

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - w \frac{\partial c}{\partial x} + q, \quad (1)$$

где c — концентрация компонента;

D — коэффициент макродиффузии;

w — скорость конвективного переноса;
 $q(x, t)$ — мощность источника вещества в точке с координатой x в момент времени t .

Начальные условия, показывающие распределение концентраций в начальный момент времени, записываются в виде $c(x, t)|_{t=0} = c_0(x)$. Условия протекания процесса на границе области интегрирования учитываются соответствующими граничными условиями [1].

Аналитическое решение уравнения (1) при единичной импульсной подаче ключевого компонента в начало координат ($x = 0$) и отсутствии конвективного переноса имеет вид [1]:

$$c(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-x^2/4Dt}. \quad (2)$$

Решение (2) получено для безграничной среды и непригодно для закрытых помещений. Использование численных методов позволяет достаточно просто интегрировать уравнение (1) на ограниченной области с учетом при необходимости заграждения области интегрирования.

Для численного решения предлагается подход, построенный на основе теории цепей Маркова [2].

К преимуществам данного подхода можно отнести хорошо разработанный математический аппарат и наличие готовых компьютерных пакетов, предназначенных для выполнения матричных вычислений. Математический аппарат теории цепей Маркова широко используется для моделирования процессов измельчения и смешения сыпучих материалов [2]. Ниже предлагается развитие данного подхода для нахождения полей концентраций токсичных веществ в закрытых помещениях.

Область интегрирования делится при этом на n ячеек. Концентрации вещества в каждой ячейке области $c_i (i = 1, 2, \dots, n)$ записываются в виде вектора состояний, каждый элемент которого показывает значение концентрации в соответствующей ячейке:

$$\mathbf{C} = \{c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n\}.$$

Матрица переходных вероятностей, описывающая изменение вектора состояния за один временной шаг $\Delta t = h$, определяется из баланса массы ключевого компонента в ячейке. При наличии конвективной составляющей диффузии матрица переходных вероятностей \mathbf{P} имеет вид:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 - v - d & d & \dots & 0 & 0 \\ v + d & 1 - v - 2d & \dots & 0 & 0 \\ 0 & v + d & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & v + d & 1 - d \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где d — безразмерный коэффициент макродиффузии, определяемый с учетом выбранного размера ячейки Δx и шага по времени Δt из выражения $d = D\Delta t/\Delta x^2$;

v — безразмерная скорость конвективного переноса, показывающая вероятность перехода компонента в соседнюю ячейку за счет конвекции $v = w\Delta t/\Delta x$. При нулевой скорости конвективного переноса матрица (3) описывает случай диффузии без конвекции.

Концентрация ключевого компонента за один временной шаг (переход) претерпевает изменения как за счет конвективного и диффузионного переходов материала в соседние ячейки, так и за счет утечек (внешних источников) вещества. С учетом сказанного эволюция вектора состояния во времени описывается матричным уравнением

$$\mathbf{C}^{j+1} = \mathbf{P}\mathbf{C}^j + \mathbf{C}^{i\text{np}}, \quad (4)$$

где $\mathbf{C}^{i\text{np}}$ — вектор внешних источников (утечек) ключевого компонента;

индекс j обозначает номер временного шага, который соответствует дискретному времени процесса $t = j\Delta t$.

При выборе достаточно большого числа ячеек, при котором за время расчета ключевой компонент не успевает дойти до крайних ячеек, матрица (3)

описывает диффузию для бесконечной среды. При выборе меньшего числа ячеек, при котором ключевой компонент успевает дойти до границы области интегрирования, матрица (3) описывает процесс диффузии в ограниченной среде, например в закрытом помещении.

Для аналитического (2) и численного (4) решений уравнения (1) проведены тестовые расчеты процесса диффузии в безграничной среде при $w = 0$ и при импульсной единичной подаче вещества в начало координат. Сопоставление полученных результатов приводится на рис. 1. Практическое совпадение результатов численного и аналитического решений свидетельствует о пригодности математического аппарата теории цепей Маркова для описания эволюции полей концентраций.

Численное решение при описании процесса в закрытых помещениях достаточно просто позволяет учитывать различные граничные условия на концах отрезка $x \in [a, b]$. В изолированных помещениях материал после достижения крайних ячеек может переходить только во внутренние ячейки области интегрирования. Проницаемые или полупроницаемые границы области интегрирования за счет организованных или неорганизованных потоков учитываются соответствующими элементами матрицы (3).

На втором этапе разработки системы распознавания выполняется решение обратной задачи, для которого могут быть использованы, по крайней мере, два подхода. Первый подход предполагает по заданным характеристикам поля определение мощности и места расположения источника из решения системы уравнений, полученных из прямой задачи. Данный подход не всегда приводит к однозначному (единственному) решению и требует, как правило, существенных временных и компьютерных ресурсов. Второй подход предполагает использование

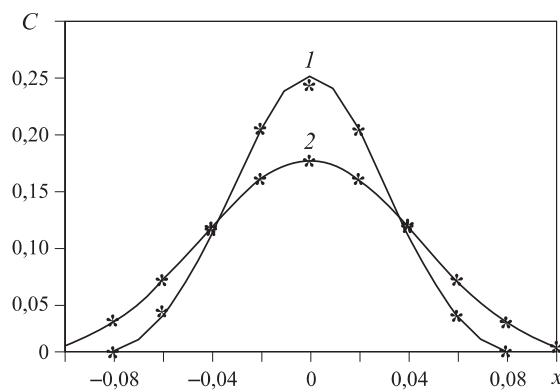


Рис. 1. Сопоставление аналитического (линии) и численного (точки) решений уравнения диффузии (1) от точечного импульсного источника единичной мощности для разного времени t процесса: 1 — 10 с; 2 — 20 с ($\Delta x = 0,01$; $\Delta t = 1$; $v = 0$; $d = 0,5$; $D = d\Delta x^2/\Delta t$)

методов теории распознавания образов и, по нашему мнению, является более предпочтительным для решения обратной задачи.

Поясним сказанное на примере одномерной диффузии вещества на отрезке $x \in [a, b]$ (в закрытом помещении) для системы распознавания, оснащенной двумя датчиками, установленными в точках $x = d_1$ и $x = d_2$. Пусть для предлагаемой системы распознавания входными данными являются время достижения пороговой концентрации в точке $x = d_1$ и срабатывания первого датчика t_1 и время достижения пороговой концентрации в точке $x = d_2$ и срабатывания второго датчика t_2 .

При первом подходе к решению обратной задачи мощность N и место расположения источника x^* определяются из решения системы двух нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} t_1 = t_1^p(x^*, N) \\ t_2 = t_2^p(x^*, N) \end{cases}, \quad (5)$$

где N — мощность источника;

индекс “р” соответствует расчетному значению времени срабатывания датчика.

Расчетные значения времени срабатывания датчиков могут быть найдены из численного или аналитического решения уравнения (1), что требует существенных затрат машинного времени, особенно при решении многомерных задач для загроможденных помещений.

Для решения обратной задачи в рамках теории распознавания образов [3, 4] множество возможных вариантов утечек, которые различаются мощностью или местом их расположения, предлагается разбить на некоторое число наиболее характерных классов опасности. Место расположения источника утечек x^* (рис. 2) оценивается по его возможному попаданию в три диапазона: $i = 1$ — до первого датчика ($x^* \in [a, d_1]$); $i = 2$ — между первым и вторым датчиками ($x^* \in [d_1, d_2]$); $i = 3$ — после второго датчика ($x^* \in [d_2, b]$).

Мощность источника утечек предлагается классифицировать по пяти нечетким оценкам: $j = 1$ — очень слабая утечка; $j = 2$ — слабая; $j = 3$ — средняя; $j = 4$ — сильная; $j = 5$ — очень сильная. Предложенная классификация утечек по 15 классам K_{ij} приводится в таблице, индекс $i = 1, 2, 3$ соответствует месту расположения источника, а индекс $j = 1, 2, 3, 4, 5$ характеризует мощность источника.

Для быстрого решения задачи распознавания утечек и принятия оперативного решения по их предотвращению или устранению их последствий предлагается использовать метод, основанный на оценке близости распознаваемого объекта (ситуации) к выбранным опорным классам [3, 4]. Для этого в многомерном пространстве признаков, по кото-

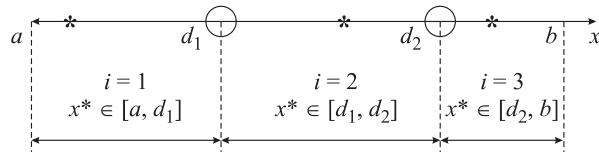


Рис. 2. Классификация источников утечек (звездочки) по месту их расположения

Классификация источников утечек токсичных и ядовитых веществ по мощности и месту их расположения K_{ij}

Место утечки i	Мощность утечки j				
	1 очень слабая	2 слабая	3 средняя	4 сильная	5 очень сильная
$x^* \in [a, d_1]$	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}
$x^* \in [d_1, d_2]$	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}
$x^* \in [d_2, b]$	K_{31}	K_{32}	K_{33}	K_{34}	K_{35}

рым осуществляется классификация, для каждого класса строится опорный вектор \vec{R}_{ij} . Значение признаков для каждого опорного вектора каждого класса определяется в рамках прямого расчета на первом этапе построения системы распознавания согласно (4). Для рассматриваемого примера классификация выполняется по двум признакам (t_1, t_2) и по 15 классам (см. таблицу). Для распознаваемого образа, который характеризуется своим вектором в многомерном пространстве признаков $\vec{R}(t_1, t_2)$, находится расстояние до опорного вектора каждого класса. По минимальному из этих расстояний делается вывод о принадлежности распознаваемого образа одному из классов:

$$D' = (\vec{R} - \vec{R}_{ij})(\vec{R} - \vec{R}_{ij})^T = \min_{ij}, \quad (6)$$

где D' — разделяющая функция классификации; индекс “т” означает транспонирование вектора.

Информация, полученная в ходе работы системы распознавания, оперативно поступает в автоматическую систему локализации утечек или лицу, принимающему решение (ЛПР), для своевременного реагирования на сложившуюся ситуацию.

Для двух- и трехмерного случаев постановки задачи вектор состояния и матрица переходных вероятностей записываются аналогичным образом, однако размер матриц во втором случае существенным образом возрастает.

Увеличение числа датчиков и установка дополнительного оборудования для определения концентрации компонентов повышают достоверность системы диагностики, увеличивая одновременно стоимость этой системы. Очевидно, что для заданной степени достоверности распознавания существует ее минимальная стоимость, а при заданной стоимо-

сти существует максимальная достоверность, которую эта система может обеспечить. Выбор оптимальной системы распознавания выполняется на основании решения многокритериальной оптимизационной задачи с использованием оценки оптимальности по Парето [5]. Результаты решения задачи представляются в виде расчетной области в системе координат стоимость системы — ее достоверность. Каждой точке области соответствует своя стоимость системы диагностики и ее достоверность. Огибающая расчетную область линия определяет множество Парето, включающее варианты систе-

мы распознавания, которые невозможно улучшить сразу по двум критериям (стоимости и достоверности) [5]. Решение обратной задачи является, таким образом, основой и для разработки оптимальной системы распознавания утечек токсичных веществ.

Предложенное на основе теории цепей Маркова математическое описание эволюции поля концентраций вредных и токсичных веществ в замкнутом помещении положено в основу системы диагностики и принятия оперативных решений по предотвращению последствий от утечек этих веществ в бытовых и производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы математической физики. — М. : Наука, 1973. — 352 с.
2. Application of the theory of markovian chains to simulation and analysis of processes with granular media / Mizonov V., Berthiaux H., Zhukov V. ; with contributions by K. Marikh, E. Barantseva, D. Ponomarev. — Albi, 2002.
3. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. — М. : Высшая школа, 1989. — 231 с.
4. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. — М. : Наука, 1979. — 368 с.
5. Дорохов И. Н., Меньшиков В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств. — М. : Наука, 2005. — 584 с.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.

Электронные адреса авторов: Vatagin@mail.ru, zhukov@ispu.ru, zhukov@home.ivanovo.ru, ivenser@indi.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



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

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

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



В. Б. Коробко
д-р техн. наук, профессор



Ю. М. Глуховенко
д-р техн. наук, профессор

УДК 614.841.33

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ДЕЙСТВИЯ ДВУХ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ: “ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ” И “ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА О БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ”

Замена закрытого “ручного” механизма псевдорегулирования отношений по обеспечению пожарной безопасности в строительной отрасли открытым “автоматическим” механизмом принятия объективного решения имеет сегодня самый высокий приоритет. Это приведет к существенному сокращению непроизводственных расходов и снижению стоимости строительства. При этом главная проблема замены инструмента принятия решения состоит не в отсутствии правовых оснований, а в их игнорировании некоторыми участниками строительной деятельности, чему способствует общий правовой нигилизм, в том числе и правоохранительных органах. Внутренне противоречивым решением данной проблемы видится принятие действующей редакции “Технического регламента о безопасности зданий и сооружений”. В ситуации искусственно созданного хаоса в техническом регулировании пожарной безопасности (технических требований великое множество, а общепринятых правил их применения не установлено) у строительной отрасли сегодня просто нет более важной задачи, чем поиск выхода из сложившейся ситуации в области пожарного нормирования. Дан анализ сложившейся ситуации; проведено сравнение содержания “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” и “Технического регламента о безопасности зданий и сооружений” с точки зрения принципов технического регулирования; сформулированы предложения по преодолению сложившихся негативных тенденций.

Ключевые слова: “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”, “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”, обязательные минимально необходимые требования пожарной безопасности, идентификация технических требований пожарной безопасности применительно к конкретному объекту технического регулирования.

У сильного всегда бессильный виноват:
Тому в истории мы тьму примеров слышим
Но мы истории не пишем...
И. А. Крылов

Штрихи к портрету современного технического регулирования вопросов обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений таковы: специалисты в ужасе, собственники в напряжении, юристы в ожидании, а разработчики технических регламентов полны оптимизма.

Год действия Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1] (далее — Технический регламент) позволил всем участникам градостроительной деятельности что называется “на своей шкуре” ощущать все “прелести” “новых правил” технического регулирования в области пожарной безопасности.

Авторы многократно высказывали свое мнение о нецелесообразности принятия Технического регламента [1] в виде сборника нормативных технических требований и настаивали на включении в его текст правил применения всех технических требований (правил идентификации требований применительно к объектам технического регулирования), а также предупреждали о возможных трудностях в случае игнорирования этих предложений.

Жизнь подтвердила эти опасения. Принятие [1] не только не решило существующих проблем в области обеспечения пожарной безопасности объектов капитального строительства, но и создало массу новых дополнительных трудностей. Так, Технический регламент [1] установил новую, непосильную для современной экономики России, планку материально-финансовых затрат на обеспечение пожарной безопасности объектов капитального строительства. Ввел новые затратные процедуры расчетов рисков, аккредитации организаций (производящих расчеты рисков), разработки деклараций для зданий и сооружений на основе расчетов рисков и т. п., обладающие сомнительной практической эффективностью.

Авторы в целях исправления создавшейся кризисной ситуации предлагали внести срочные изменения в текст [1]:

- исключить технические требования;
- включить правила идентификации технических требований применительно к объектам технического регулирования, т. е. конкретные правила применения всех технических требований СНиПов, НПБ, сводов правил, национальных стандартов, регламентов организаций и других нормативных документов.

Однако этих изменений строительное сообщество пока не дождалось.

И что удивительно, в отличие от других участников строительной отрасли инициаторы принятия этого Технического регламента сами его пока широко не применяют (при отсутствии правовых оснований просто де-факто введен мораторий на его применение, пока на 1 год).

Но жизнь не стоит на месте. И вот уже принят и даже вступил в силу “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” [2] (согласно требованиям ст. 5.1 Федерального закона “О техническом регулировании” [3]). Технический регламент [2], как и [1], содержит положения по регулированию отношений в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений на всех этапах их жизни, на что недвусмысленно указывают положения ст. 8 и 17. При этом многие положения этих двух технических регламентов, регулирующих одну и ту же область отношений, мягко выражаясь, не совпадают.

Авторы, проанализировав сложившуюся ситуацию хаоса и правовой неразберихи, предлагают подходы к принятию решений в условиях правовой неопределенности и надеются, что их скромные усилия помогут коллегам.

Что сегодня важнее: универсальный (на все случаи жизни) набор типовых технических требований или универсальный правовой механизм применения любых технических требований и решения любых спорных ситуаций?

Анализ положений [1] и практики их применения позволяет утверждать, что авторы существующей редакции [1] не решили ни одной из заявленных и стоящих перед ними проблем:

- НЕ сократили количества технических требований до уровня, соразмерного угрозам жизни и здоровью людей, с учетом социального, технического и экономического уровней развития общества;
- НЕ привели содержание технических требований в соответствие с целями технического регулирования;
- НЕ создали механизма определения минимально необходимых технических требований на конкретном объекте;
- НЕ разработали универсального правового инструмента регулирования отношений между всеми участниками строительной деятельности;
- НЕ создали правовой основы для деятельности органов государственного контроля (надзора) по решению конфликтных ситуаций в области обеспечения пожарной безопасности;
- НЕ создали необходимых предпосылок для борьбы с недобросовестными сотрудниками органов контроля (надзора);
- НЕ ликвидировали существующий административный барьер в виде системы жесткого нормирования;
- НЕ создали предпосылок для смягчения инвестиционного климата.

И еще много чего НЕ... вопреки публичным заявлениям его авторов и целям, положенным в обоснование необходимости принятия этого закона.

Технический регламент [1] — это не что иное как продукт борьбы авторов его текста за контроль над рынком товаров и услуг в области пожарной безопасности.

Для реализации именно этих задач были искусственно созданы дополнительные технические и процедурные барьеры, существенным образом снижающие эффективность работы строительной отрасли и повышающие затраты на ее осуществление.

Так, реальный смысл включения в текст федерального закона типовых технических требований пожарной безопасности заключался в создании заранее невыполнимых технических условий, которые можно смягчить путем согласования исключительно с высшим органом по контролю (надзору). Для реализации процедуры “смягчения” предлага-

лись процедуры согласования СТУ, расчетов риска, деклараций и т. п.

Как показала практика, применение этих процедур не приводит ни к какому практическому результату в области обеспечения пожарной безопасности, а только отвлекает на эти нужды материальные, кадровые и финансовые ресурсы, дефицит которых наблюдается у всех участников строительной деятельности.

Именно этот результат прогнозировался большинством специалистов в области обеспечения пожарной безопасности, которые активно выступали против принудительного включения значительного количества типовых технических требований в текст [1], поправки основных принципов технического регулирования и явной попытки сохранения системы “ручного” управления в области обеспечения пожарной безопасности на основе процедуры согласования отступлений.

Осознанное циничное игнорирование основных принципов технического регулирования было обусловлено только одной целью — еще одной попыткой сохранить широко и печально известный административный барьер в области пожарной безопасности.

К сожалению, авторы [1] не осознают того факта, что игнорирование принципов технического регулирования в нормальной рыночной экономике, в которой ВСЕ считают СВОИ деньги и тратят их только в случае явной необходимости, равносильно игнорированию всех известных законов природы, например таких, как законы термодинамики или механики.

Очевидно, что фиксировать в Техническом регламенте [1] технические требования пожарной безопасности нет никакой практической необходимости. Технических требований всегда много, их количество неизменно растет, они постоянно меняются, уточняются, корректируются, добавляются и исчезают за ненадобностью и т. д., т. е. живут своей естественной жизнью, соразмерной темпам социально-экономического и технического развития общества. Поэтому любые попытки зафиксировать эти требования, пусть даже и в федеральном законе, малопродуктивны, абсурдны по своей сути и даже общественно опасны, поскольку равносильны попыткам остановить жизнедеятельность общества и государства. Тем более нецелесообразно фиксировать технические требования в период глобальной смены ориентиров и перехода на новые принципы управления экономикой, в период ее интенсивного технического перевооружения и внедрения новых научноемких технологий.

Место технических требований не в федеральном законе, а в национальных стандартах, сводах

правил и других нормативных документах или в справочной литературе.

Строительной отрасли сегодня нужны не законы, а технические нормативы, которые существенным образом сдерживают ее развитие, а справедливый правовой инструмент регулирования отношений и решения любых спорных ситуаций, неизменность и стабильность действия которого должны быть определены федеральным законом. Применительно к техническим требованиям безопасности этот универсальный инструмент должен давать возможность определять обязательность или необязательность применения той или иной технической нормы, того или иного технического мероприятия на каждом конкретном объекте.

Особая потребность в наличии такого инструмента в области пожарной безопасности стала ощущаться сразу после вступления в силу Технического регламента [1], который, вместо официально заявленного в преамбуле к этому закону сокращения количества технических требований пожарной безопасности в 100 раз, резко (в 2 раза) увеличил их число. Так, вместо 120 тысяч прежних технических требований СНиПов, НПБ, ГОСТов их стало более 200 тысяч (не менее 80 тысяч новых технических требований [1], сводов правил, национальных стандартов, стандартов организаций). И этот процесс продолжается, вводятся новые СП, новые редакции СНиПов, принимаются отраслевые стандарты и стандарты организаций. Это процесс естественного развития общества, и его нельзя директивно сократить ни в 2, ни в 100 раз. Чем быстрее общество будет развиваться, тем быстрее будет нарастать объем технических требований. Для управления этим процессом необходимы понятные всем правила применения технических требований.

Роль правил применения долгое время успешно выполняла и пока продолжает выполнять известный всем ГОСТ 12.1.004–91* [4]. Однако с принятием [1] и увеличением количества технических требований в 2 раза Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (приказом от 30 апреля 2009 г. № 1573) приняло нелогичное с точки зрения авторов статьи и идущее вразрез с политикой технического регулирования решение — исключило основные положения ГОСТ 12.1.004–91* [4] из правил применения технических требований. Тем самым Ростехрегулирование внесло свою лепту в создание настоящего хаоса при принятии решений по обеспечению пожарной безопасности объектов, сделав область нормирования пожарной безопасности крайне малоэффективной и “труднопрходимой” даже для опытных специалистов в пожарном нормировании.

И только специалисты по адресным системам обеспечения пожарной безопасности не испытывали никакого дискомфорта от принятия настоящей редакции [1], поскольку уже давно работали по правилам применения технических требований, базирующимся на общепонятных и общепринятых социально-экономических принципах функционирования рыночной экономики, которые уже в достаточной степени восприняты современным обществом и реализованы в базовых федеральных законах.

Остается только сожалеть, что такого уровня специалистов, которым не страшны нормативные тупики и коллизии, крайне мало в нашей стране. Всем остальным же остается надеяться, что разработчикам [1] хватит здравого смысла и ответственности, чтобы внести столь необходимые изменения в [1] и, наконец, дать всем участникам строительной деятельности инструмент для решения всех проблем в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений — правила идентификации технических требований применительно к объекту технического регулирования (OTP).

Некоторые важные особенности нормативной базы в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений

Авторы уже подробно излагали особенности устройства нормативной базы в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений [2]. Однако в контексте настоящей публикации решили еще раз кратко напомнить читателям о некоторых ее особенностях.

Наиболее важной особенностью существующей нормативной базы в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений авторы считают отсутствие общепризнанного и законодательно закрепленного универсального механизма применения всего спектра технических требований для обеспечения пожарной безопасности на конкретном объекте, на что обращают особое внимание читателей.

В качестве главной причины отсутствия такого универсального инструмента применения технических требований авторы считают неспособность госрегулятора применить такие методы регулирования отношений, которые бы реализовали принятые принципы технического регулирования и были адекватны процессам в экономике страны и в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

Эта особенность деятельности госрегулятора является проявлением его природной сути, сформированной в период административного управления “социалистической” экономикой. Применительно к современному экономическому периоду она ста-

новится его неискоренимым системным недостатком, который не позволяет госрегулятору:

- добровольно отказаться от прямого, как в прошлой жизни, регулирования рынка товаров и услуг в области обеспечения пожарной безопасности;
- понять, что в рыночной экономике задача регулирования рынка товаров и услуг решается иными методами, а также принять рыночные методы регулирования социально-экономических отношений;
- адаптироваться к изменениям в социально-экономических отношениях, осознать свою неспособность к адаптации и, осуществив самоотрицание, исчезнуть как экономический барьер.

Это означает, что госрегулятор не имеет здорового природного механизма самоадаптации к условиям среды (гомеостазиса), а значит, не способен в меняющихся условиях рыночных отношений стать реальным арбитром в вопросах защиты интересов граждан, общества и государства при решении вопросов обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

Таким образом, системная особенность госрегулятора регулировать рынок товаров и услуг в области обеспечения пожарной безопасности исключительно напрямую привела к тому, что он, не осознавая последствий своих действий, по сути, перевел регулирование отношений в области обеспечения пожарной безопасности на неформальные основы, предложив участникам рынка только свои безальтернативные неформальные услуги.

Последнее оказалось приемлемым не для всех участников рынка пожарной безопасности и привело к необходимости поиска самостоятельного и законного обоснования для принятия решений по обеспечению пожарной безопасности объектов. Ниже мы сформулируем наши предложения по этому поводу.

Такой, чисто утилитарный (потребительский) подход госрегулятора к регулированию отношений в области обеспечения пожарной безопасности не мог не оказаться на системе ее нормирования и постепенно привел к ее деградации. Именно поэтому к настоящему времени вместо одной цельной системы нормирования мы получили как минимум три.

Три системы нормирования

Реальность такова, что вступление в силу Технического регламента [1] не только не устранило уже имеющиеся противоречия в нормировании пожарной безопасности, но и добавило к уже существующим противоречиям дополнительные. Наиболее характерной особенностью современного периода в нормировании в области обеспечения пожарной безопасности является наличие как минимум



трех групп требований пожарной безопасности (рис. 1), каждая из которых, по сути, представляет собой самостоятельную и самодостаточную систему технических требований (рис. 2).

Так, *первая система нормативных требований* пожарной безопасности представляет собой набор типовых технических требований пожарной безопасности, которые при их реализации становятся типовыми проектными решениями.

Эта система требований была разработана для обеспечения градостроительной деятельности в начальный период крупного индустриального и жилищного строительства, в 50–60 годы прошлого века. За основу этой системы были взяты требования западных страховых компаний, ориентированные на обеспечение пожарной безопасности имущества. Эта система в полной мере соответствовала принятой в тот период унитарной модели государственного управления, в которой интересы государства и собственников объектов капитального строительства были единым целым. Эта система полностью выполнила все стоящие перед ней задачи того периода и до сих пор сравнительно благополучно

переживала все этапы ее реформирования. Несмотря на вносимые в нее уточнения, она и до настоящего времени не претерпела принципиальных и существенных изменений.

Эта система носит общепринятое название *жесткой системы нормирования* и обладает следующими особенностями:

1. Требования этой системы просты и конкретны и по своей сути являются типовыми проектными решениями. Они обязательны для выполнения на каждом объекте и предполагают исключительно прямое их применение, что способствует высокой эффективности прямого контроля (надзора) за их применением.

2. Эти особенности системы определяют требования к квалификации применяющих ее специалистов. Так, для применения требований жесткой системы нормирования (включая, контроль/надзор за их применением) не требуется глубокая и всесторонняя специализированная инженерная подготовка в области пожарной безопасности. Эта система была разработана в расчете на массовое применение ее инженерами-строителями, которые не имеют “пожарного” образования, и инспекторами государственного пожарного надзора, также зачастую не имеющими специального образования или имеющими только среднее специальное пожарно-техническое образование. Именно это обстоятельство, по нашему мнению, стало решающим в формировании стратегии жесткой системы нормирования.

3. Жесткая система нормирования требует постоянной корректировки для приведения ее в соответствие с реальностями жизни: с уровнем развития общества, техники и технологий. Низкая оперативность в корректировке требований становится тормозом развития строительной отрасли. Оперативный механизм корректировки требований через про-



цедуру специальных технических условий (СТУ) приводит к избирательности, закрытости и коррупции.

4. В основе жесткой системы нормирования (удобной во времена единой социалистической собственности) лежит принцип приоритета требований по обеспечению пожарной безопасности зданий и сооружений как имущества. В силу этого принципа сначала предусматриваются мероприятия по обеспечению пожарной безопасности имущества (такие, как деление здания, сооружения на пожарные отсеки; установление противопожарных разрывов, пределов огнестойкости противопожарных преград и инженерных коммуникаций; определение возможности подъездов и проездов для пожарных автомобилей, расходов и напоров внутренних и внешних систем противопожарного водоснабжения, и др.). Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности людей (такие, как количество и параметры выходов и путей эвакуации из каждого пожарного отсека, инженерные системы своевременного обнаружения пожара и обеспечения эвакуации, включая противодымную защиту путей эвакуации, и др.) решаются только во вторую очередь и являются, по сути, второстепенными. Следует отметить, что этот принцип нормирования коренным образом противоречит целям технического регулирования, установленным [3].

5. Эти особенности жесткой системы нормирования являются ее методологическими изъянами, которые давно и хорошо известны специалистам. Для их устранения нужна политическая воля, которой в тот период времени не было: государству была выгодна жесткая система нормирования.

6. Когда жесткая система нормирования исчерпала себя как универсальный инструмент принятия решений в строительной отрасли и государству потребовался более гибкий и оперативный механизм подстройки жесткой системы нормирования под реальные задачи экономики, была создана вторая система нормирования — процедура отступления от требований жесткой системы нормирования через согласование с органом контроля (надзора).

Вторая система нормирования в области пожарной безопасности начала свое формирование в конце 90-х годов прошлого века. Тогда, еще в рамках унитарной модели государственного управления для стимулирования развития экономики и перехода к инновационному способу хозяйствования потребовалось адаптировать жесткую систему нормирования к нарождающимся рыночным процессам. Ключевое значение в этом процессе в области пожарной безопасности было отведено ГОСТ 12.1.004–91* [4]. Этот нормативный документ документально установил принципы и подходы к обеспечению пожарной безопасности любых объектов

защиты на всех стадиях их жизненного цикла (исследование, разработка нормативных документов, конструирование, проектирование, изготовление, строительство и др.), а также способы и методы их достижения. Параллельно шел процесс включения аналогичных требований в строительные нормы и правила. Так, в СНиП 21-01-97* “Пожарная безопасность зданий и сооружений” [5] были включены общие требования по обеспечению безопасности людей и имущества, основанные на расчетных сценариях развития и тушения пожара.

Этой системе нормирования специалисты присвоили название адресной. В специальной литературе встречаются и другие ее названия: целевая, объектно-ориентированная (название заимствовано из программирования). Специалисты часто этот подход называют также *системой гибкого нормирования*, противопоставляя ее системе жесткого нормирования. Но авторы статьи являются сторонниками названия “АДРЕСНАЯ” в дань уважения к Специалисту (с большой буквы) В. И. Козлачкову, который широко ввел это понятие в реальную жизнь пожарной охраны более 30 лет назад и который уже достаточно давно, более 20 лет назад, представил все необходимые научные обоснования ее успешного внедрения в любые экономические модели, включая высший уровень аргументации — философский уровень, который в силу объективных причин оказался недоступен большинству специалистов в области обеспечения пожарной безопасности, имеющих исключительно техническое образование.

Отдельные элементы адресной системы нормирования нашли свое отражение в существующей системе жесткого нормирования. Однако явные преимущества адресной системы нормирования перед прежней, жесткой, системой не смогли преодолеть сопротивление консервативных кругов значительной части профессионального сообщества. Поэтому, несмотря на отдельные прогрессивные изменения, система СНиПов продолжала представлять собой яркий образец жесткой системы нормирования. Для легитимного оформления отступления от нее требовалась особая процедура, которая и была разработана в духе социалистического управленческого решения. Суть этой процедуры заключается в получении РАЗРЕШЕНИЯ на отступление. Причем получить такое разрешение можно было только в исключительном случае. Затем правила упростились, чему способствовали высокий темп технического прогресса строительной отрасли и массовая потребность в отступлениях. В скором времени под влиянием этих процессов была создана массовая процедура, которую мы все знаем как “разработка и согласование СТУ”. Следует отметить, что у “необ-

ходимости” отступлений, принявший массовый характер, были чисто субъективные корни. В своей основе “необходимость” отступлений заключалась в элементарном нежелании выполнять существующие требования, тем более в период общей безответственности, подогреваемой “молодыми и горячими” собственниками и инвесторами.

Только в редких случаях для отступления от требований оговаривалась возможность оценки пожарной безопасности объекта расчетным путем. Еще в более редких случаях такие расчеты проводились. Реализация адресного подхода была скорее исключением, чем правилом. Процедура разработки и согласования СТУ скорее была ширмой для прикрытия отступлений от установленных требований, чем реальным обоснованием таких отступлений. Эта ситуация и по сей день не претерпела существенных изменений.

Главной положительной особенностью адресного подхода в нормировании является то, что он ориентирован на конкретные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности людей и имущества и позволяет учесть интересы граждан, общества и государства. Вместо когда-то, кем-то, по какому-то случаю установленных усредненных технических требований на основе усредненной оценки пожарной опасности объекта этот подход позволяет не просто назначать, а обосновывать меры и мероприятия пожарной безопасности по защите людей и имущества, проводить социальную и экономическую оценку эффективности этих мер и мероприятий, реализовывать все потребности рыночной экономики в минимизации затрат на пожарную безопасность и обеспечивать баланс интересов, государства, общества, граждан, с одной стороны, и предпринимателей — с другой. Адресный подход в нормировании полностью согласуется с целями технического регулирования, обозначенными в [3]. Этому подходу пока нет альтернативы.

Корректное и широкое применение этого нормативного подхода позволяет значительно сократить материальные и финансовые затраты на строительство объектов в масштабах всего государства. При этом затраты на проектирование возрастают незначительно, поскольку разработка экономически обоснованных и безопасных для людей и имущества мероприятий и проектных решений на основе расчетных сценариев требует высокой квалификации исполнителей и, как следствие, более высоких финансовых затрат, что является незначительным отрицательным фактором этого подхода. Но при этом существенно (в разы) сокращаются затраты на избыточные и “дорогие” мероприятия по обеспечению пожарной безопасности. В рамках адресного подхода в нормировании одно “дорогое” мероприятие

может быть заменено десятком других мероприятий, общая стоимость которых будет в несколько раз ниже стоимости “дорогого” мероприятия, а безопасность людей при этом будет обеспечена.

Корректное применение адресного подхода позволяет избежать непрогнозируемых последствий в случае пожара, точно определить меру вины и ответственности лиц — участников строительной деятельности в случае наступления тяжких последствий, избежать необоснованных обвинений в причинении вреда.

Однако существующий формат реализации адресного подхода пока очень далек от описанного выше и, как уже было сказано, является только прикрытием согласования отступлений через процедуру СТУ.

Такой формат СТУ плохо вписывается в рыночную экономику и в существующее разграничение полномочий в области принятия решений по обеспечению пожарной безопасности, что приводит к объективным противоречиям и конфликтным ситуациям. Приведем некоторые из них.

В сложившемся формате СТУ на проектирование и строительство в части обеспечения пожарной безопасности, как правило, разрешается не выполнять те или иные требования пожарной безопасности. Так, например, для зданий высотой более 100 м часто разрешается не выполнять общие требования пожарной безопасности, разработанные для всех зданий и сооружений. Разумные объяснения причин (обоснований) такого невыполнения установленных требований, как правило, в СТУ и в документах по согласованию не приводятся.

Вместо обоснований невыполнения установленных требований обычно предлагается некоторый набор так называемых компенсирующих требований или мероприятий. Теоретически схема проста и даже банальна: вместо одних установленных требований разрешается выполнять какие-то другие. Однако на практике часто все бывает иначе: в качестве компенсирующих требований (мероприятий) обычно выступают обычные требования действующих нормативных документов. Вот и получается, что сложившийся формат СТУ часто просто позволяет не выполнять какие-то требования, маскируя это разрешение описанием требований, которые нужно было выполнить и без СТУ.

Другая особенность СТУ заключается в том, что в качестве компенсирующих выступают мероприятия, имеющие совершенно иную природу, чем те, замен которых они предлагаются. Так, вместо противопожарной преграды, которая должна делить здание или сооружение на пожарные отсеки и служить преградой для всех опасных факторов пожара (ОФП), разрешается применять водяную завесу, ко-

торая по своим свойствам просто не способна выполнить все функции противопожарной преграды.

В последнее время СТУ разрабатываются в связи с так называемым отсутствием требований. В таких СТУ содержится разрешение на применение требований, которые разработаны для других категорий объектов. Так, например, для зданий высотой более 100 м разрешается использовать требования, разработанные для зданий высотой до 50 м, без каких-либо обоснований этого разрешения.

Как и должно быть, такая процедура разработки и согласования СТУ является чисто административной, в лучшем случае экспертно-административной, и в весьма редких случаях опирается на строгие научно-технические обоснования. Такая процедура по определению не может быть прозрачной в понимании и простой в реализации. К такой процедуре, как правило, допускаются только проверенные и доверенные эксперты и организации. Так, в рамках последней редакции этой процедуры СТУ должны пройти как минимум четыре этапа согласований. Минрегион России утверждает СТУ после положительного заключения ОАО «ЦНС». ОАО «ЦНС» дает положительное заключение на СТУ при наличии положительного решения экспертного совета Департамента надзорной деятельности МЧС России. Департамент надзорной деятельности МЧС России принимает положительное решение только в том случае, если организация — разработчик СТУ по пожарной безопасности имеет лицензию МЧС России (по странному стечению обстоятельств почему-то на тушение пожаров), а также после получения положительного заключения ФГУ «ВНИИПО МЧС России», или ГОУ «Академия ГПС МЧС России», или территориального органа управления МЧС России по субъекту Российской Федерации. При этом процедура согласования СТУ в указанных организациях проводится в рамках многочисленных комиссий и советов.

Несмотря на множество этапов согласований СТУ, ни на одном из них не проводится глубокое и всестороннее научно-техническое изучение обоснований применения или неприменения тех или иных мероприятий на конкретном объекте, которые в тексте СТУ называются требованиями. Отчасти это объясняется еще и тем, что в соответствии с законодательством Российской Федерации процедура согласования СТУ не должна превращаться в процедуру оценки соответствия проектных решений и подменять собой процедуру государственной экспертизы проектной документации. Это требование стараются соблюдать все участники процесса разработки и согласования СТУ. Однако у специалистов постоянно возникает риторический вопрос: возможно ли без детального рассмотрения проектной докумен-

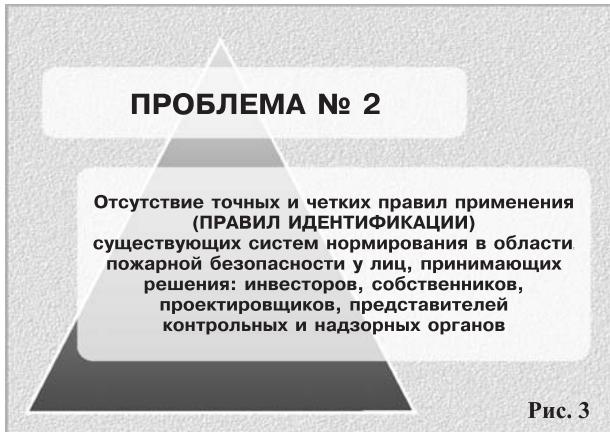
тации внести предложения по необходимости включения в проект конкретного мероприятия по пожарной безопасности (разработать СТУ) и тем более сделать вывод о том, что всех включенных в проектную документацию мероприятий по обеспечению пожарной безопасности будет достаточно для обеспечения безопасности людей и имущества (согласовать СТУ)? Ответ на этот вопрос всем давно известен.

В силу этих обстоятельств очень часто проектная документация, подготовленная с использованием СТУ, не имеет обоснований принятых мероприятий и проектных решений по обеспечению пожарной безопасности. Это исключает возможность объективной и достоверной оценки ее соответствия при государственной экспертизе, приводит к наличию замечаний по необходимости разработки таких обоснований.

Главный вывод по второй системе нормирования заключается в том, что в рамках технического регулирования у процедуры СТУ может быть только один реальный путь развития: превратиться из закрытой процедуры для избранных (в рамках которой можно все) в процедуру научно-технического обоснования адресного подхода в нормировании для всех.

Третья система нормирования представлена в Техническом регламенте [1], в котором вместо столь необходимых строительному сообществу объективных правил применения (правил идентификации) всех технических требований (и прежних — из СНиПов, НПБ, ГОСТов, и новых — из [1], сводов правил, национальных стандартов и стандартов организаций) представлены отдельные технические нормы и малоэффективные процедуры подтверждения соответствия.

Обязательность наличия в технических регламентах правил идентификации технических требований применительно к объектам технического регулирования предусмотрена требованиями п. 3 ст. 7 [3]. Следует отметить, что это требование было установлено после принятия [1]. Однако и без его установления разработчики [1] были обязаны разработать именно правила идентификации применения технических требований, а не переносить отдельные требования из СНиПов и НПБ в Технический регламент [1]. Такая безответственная позиция разработчиков [1] должна была привести и привела к конфликтной ситуации (рис. 3), в которой регулирование отношений (разрешение конфликтных ситуаций) в области обеспечения пожарной безопасности на основе [1] не разрешает конфликты, а углубляет их и ухудшает отношения между всеми сторонами градостроительной деятельности.



Вместо регулирования отношений – конфликт отношений

В целом, с принятием и вступлением в силу [1] вместо полноценного правового регулирования отношений в области пожарной безопасности, предусмотренного требованиями ст. 4 [3] и ст. 4 [1], создалась ситуация искусственного хаоса в регулировании отношений между всеми участниками строительной деятельности. Каждый из участников оказался в так называемых “условиях неопределенности”, когда любое из его решений невозможно трактовать однозначно. Это относится ко всем — проектировщикам, строителям, заказчикам, инвесторам, представителям органов государственного контроля (надзора) (рис. 4). Такое стало возможным только “благодаря” безответственной позиции разработчиков [1], которые вместо решения обозначенной выше проблемы № 1 искусственно создали дополнительную проблему — № 2.

Дальнейшее развитие процесса в этом направлении приводит к “раскалыванию” единого и неразрывного процесса градостроительной деятельности, к невозможности разрешения конфликтных си-



туаций в рамках закона, к параличу регулирования отношений на основе федерального законодательства (на основе [1]) (рис. 5). В конечном счете эта ситуация приведет к регулированию отношений не на основе закона.

Практика последних месяцев показала, что по вопросам пожарной безопасности резко возрос уровень конфронтации не только между традиционными противниками: проектировщиками, заказчиками, строителями и инвесторами, с одной стороны, и представителями контрольно-надзорных органов — с другой, но и внутри каждой из сторон, т. е. в настоящее время наблюдается жесткая конфронтация ВСЕХ со ВСЕМИ (рис. 6). Особое опасение вызывает потенциальная возможность возникновения признаков конфронтации между государственными контрольно-надзорными структурами, которые по определению должны иметь единую позицию, отражающую интересы людей, общества и государства.



Эта проблема настолько обострилась, что уже стала предметом обсуждения в высших органах законодательной и исполнительной власти государства. Особые сложности эта ситуация доставляет инвестору и собственнику — самому заинтересованному лицу в наличии точных, конкретных, понятных и, главное, стабильных и справедливых правил игры.

Так, неопределенности с нормативной базой в области пожарной безопасности, различные трактовки нормативной базы заказчиками, проектировщиками, строителями, различными контрольными и надзорными органами создают дополнительные, все новые и новые, так называемые внеплановые трудности и расходы, которые, в конечном счете, ложатся тяжким бременем прежде всего на экономику, а затем и на простых граждан.

Кроме того, неопределенности с нормативной базой в области пожарной безопасности породили и иные проблемы. Например, проблемы, связанные с появлением неустранимых сомнений у лиц, принимающих решения на всех этапах градостроительной деятельности, которые разрабатывают и утверждают проектную документацию, подписывают и утверждают заключения по результатам государственной экспертизы, заключения о соответствии построенного объекта проектной документации и нормативным требованиям. Это, в свою очередь, создает условия непреднамеренного массового введения в заблуждение инвесторов, заказчиков, потребителей, проектировщиков, государственных экспертов и, как следствие, к возможным претензиям их друг к другу и претензиям к ним со стороны надзорных органов.

Все это не способствует развитию градостроительной деятельности, а, наоборот, приводит к ее дестабилизации и ухудшению инвестиционного климата (рис. 7).

Что делать?

Несмотря на все сложности с нормированием в области пожарной безопасности поиск оптималь-

ного решения, которое позволило бы сохранить стабильность и преемственность в подходах к обеспечению пожарной безопасности в градостроительной деятельности и при этом было бы технически обоснованным и юридически легитимным, является процедурой чисто технической. Для решения этой задачи в системах Минрегиона России и МЧС России достаточно научно-технических и иных ресурсов. Авторы уверены, что ждать такого решения осталось не очень долго.

Напомним читателям наши предложения, которые мы сделали по истечении двух месяцев применения Технического регламента [1]:

1. До принятия и вступления в силу технического регламента [2] применять требования [1] в строительной деятельности с учетом требований ст. 54 Конституции Российской Федерации, п. 2 ст. 4, ст. 6, п. 2 и 3 ст. 7, п. 1 и части 2 п. 2 ст. 46 [3], ГОСТ 12.1.004–91* [4] и п. 4.1, 4.4, 4.5, 6.2, 6.3, 6.4, 6.8, 7.3 СНиП 21-01-97* [5] (рис. 8).

2. Создать рабочую группу по доработке проекта технического регламента [2] в части разработки правил применения (правил идентификации) требований пожарной безопасности к зданиям и сооружениям, с учетом всего многообразия действующих нормативных документов, содержащих требования пожарной безопасности ([1], СП, СНиПов, НПБ, ГОСТов, ОСТов, РД и др.). Включить в рабочую группу специалистов всех заинтересованных организаций.

3. К концу 2009 г. подготовить силами совместной комиссии МЧС–РСПП с привлечением всех заинтересованных организаций пакет изменений в [1], приводящих данный документ в соответствие с целями технического регулирования.

А теперь попробуем проанализировать, что было сделано в нашей предметной области для преодоления сложившихся негативных тенденций.



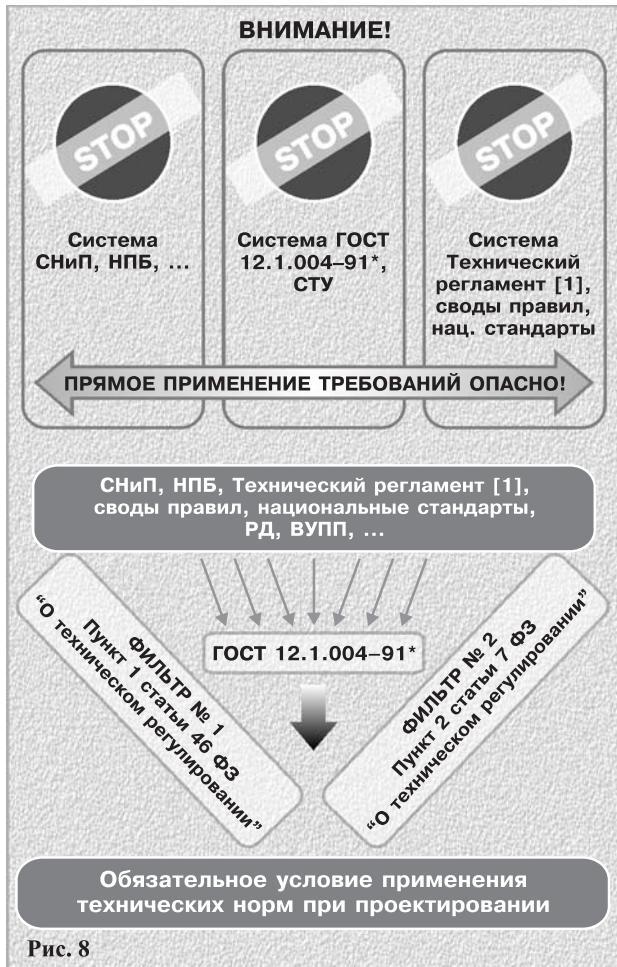


Рис. 8.

По предложению 1 – недопустимости применения технических требований пожарной безопасности напрямую

Авторы уже в течение долгого времени в своей практической деятельности применяют указанные выше требования [4] и [3] в качестве своеобразного фильтра технических требований и, опираясь на них, получают убедительные обоснования принимаемых решений. Однако пока массового применения предлагаемого авторами решения не наблюдается. В системе МЧС России предполагалось разработать нормативный документ по правилам идентификации, но пока его нет.

По предложению 2 – доработке проекта «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [2]

Технический регламент [2] уже принят и с опежнением общепринятых требований (не ранее 6 месяцев) вступил в силу с 1 января 2010 г. вместе с изменениями, которые он внес в [3] (ст. 5.1).

Авторы приняли активное участие в обсуждении разработанного проекта [2] и пришли к однозначному выводу, что данный проект в значительно большей степени, чем [1], соответствует требованиям

Некоторые отличия проекта технического регламента [2] от [1]

Отличия	Проект [2]	Технический регламент [1]	ФЗ [3]
1. Наличие типовых технических требований в тексте регламента	Нет	Да	Не требует
2. Наличие классификаций по признакам опасности или безопасности в тексте технического регламента	Нет	Да	Не требует
3. Наличие точных и четких признаков и критерии идентификации объектов технического регулирования	Да	Нет	Требует
4. Наличие требования по сценарно-расчетному способу обоснования мероприятий и проектных решений	Да	Нет	Допускает

ям технического регулирования, установленным [3]. Вот некоторые обобщенные данные о сопоставлении этих двух технических регламентов (см. таблицу).

Как видно из таблицы, эти технические регламенты существенным образом отличаются. Это касается в первую очередь типовых технических требований. В тексте [2] этих требований совсем нет, т. е. АБСОЛЮТНО (!!!). До такого уровня понимания того, чего не должно быть в федеральном законе, разработчикам [1] еще далеко. По имеющимся у нас сведениям, авторы [1] предлагают внести некоторые стилистические правки в имеющийся текст регламента, который они считают в целом разумным и адекватным. При этом в тексте [2] нет не только типовых технических требований по пожарной безопасности, но и типовых технических требований по экологической, санитарно-эпидемиологической, конструктивной, инженерной и иной безопасности, что полностью соответствует основным принципам технического регулирования.

Кроме того, в текст [2] не включили ни одну из классификаций по опасности или безопасности зданий и сооружений (пожарной, санитарной, экологической, конструктивной, инженерной и иной). Этим [2] также положительно отличается от Технического регламента [1].

В [2] предусматривается сценарно-расчетный способ обоснования мероприятий и проектных решений, а в [1] — обоснование мероприятий и проектных решений путем расчетов гипотетических рисков — вероятностей гибели людей. При этом в основу утвержденной МЧС России методики рас-

чета вероятностей гибели людей положены значения статистических показателей, не относящихся к расчетному объекту, либо экспертные предположения о том, какие значения могли бы иметь данные статистические показатели. Эти предположения сделаны без учета особенностей расчетного объекта задолго до того, как было принято решение о его строительстве, и являются результатом очень субъективного представления о характере процессов развития пожара и обеспечения безопасности людей и имущества.

Даже такой неглубокий анализ, который был представлен выше, позволяет с уверенностью утверждать, что в [2], в целом, заложены основные принципы технического регулирования, что, скорее всего, позволит использовать его потенциал более продуктивно, чем настоящую версию [1].

Сравнительно недавно авторы статьи провели более глубокое изучение текстов [1] и [2] с позиции их применения в единой предметной области.

Какой закон правильнее?

или

В поиске альтернативы в регулировании отношений в области пожарной безопасности

Проект Федерального закона [1] подготовлен МЧС России инесен в Государственную Думу Правительством Российской Федерации в рамках реализации Программы разработки технических регламентов, утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 06.11.2004 № 1421-р, на основании предписания п. 12 ст. 7 [3].

В качестве обоснования необходимости принятия законопроекта в пояснительной записке к нему указывалось следующее:

- в соответствии с действующим законодательством РФ нормативное правовое регулирование в области пожарной безопасности представляет собой принятие органами государственной власти нормативных правовых актов по пожарной безопасности. Нормативное регулирование в области пожарной безопасности — установление уполномоченными государственными органами в нормативных документах обязательных для исполнения требований пожарной безопасности. К нормативным документам по пожарной безопасности относятся стандарты, нормы и правила пожарной безопасности, инструкции и иные документы, содержащие требования пожарной безопасности;
- в настоящее время нормативная правовая база в области пожарной безопасности в основном сформирована и в целом обеспечивает реализацию мер по противопожарной защите в организациях, муниципальных образованиях и субъектах РФ. В то же время имеется ряд серьезных

проблем. Во-первых, наличие более двух тысяч нормативных документов, содержащих свыше 150 тыс. требований, которыми сегодня руководствуются около 3 млн. субъектов хозяйственной деятельности. Во-вторых, документы имеют различный юридический статус, часто противоречивы и дублируют друг друга. Все это затрудняет их применение как со стороны собственников объектов противопожарной защиты, так и со стороны надзорных органов;

- Федеральным законом [3] определено, что обязательные требования к продукции могут быть установлены только техническими регламентами. Не включенные в технические регламенты требования к продукции или к связанным с ней процессам не могут носить обязательный характер. В связи с этим крайне назрела необходимость существенной модернизации и реформирования нормативной базы в области пожарной безопасности.

Цель законопроекта определялась как обеспечение уровня защиты жизни и здоровья людей, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров, соответствующего современному состоянию развития общества и экономики.

Как следует из представленного выше анализа ситуации с разработкой и принятием [1], данный Технический регламент не позволяет достичь ни одной из заявленных целей: сократить число технических требований, упорядочить их применение, обеспечить защиту людей и имущества, соразмерную уровням угроз и развития общества.

Даже не очень широкая практика применения [1] в градостроительной деятельности привела к необходимости поиска более достойной альтернативы. И такая альтернатива появилась в виде Федерального закона [2], который полностью вступил в силу 1 июля 2010 г. Этот технический регламент содержит нормы, регулирующие отношения в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. При этом формально продолжает действовать Технический регламент [1], который также содержит нормы, регулирующие отношения в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

Таким образом, 1 июля 2010 г. при осуществлении закономерного процесса по созданию альтернативы Техническому регламенту [1] произошло хоть и прогнозируемое, но странное с правовой точки зрения событие — дублирование в регулировании отношений в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. Вместе с тем указанные технические регламенты содержат разные принципы и нормы регулирования отношения од-

ной и той же предметной области — обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. При этом сами нормы и принципы указанных технических регламентов только частично соответствуют требованиям [3].

Одним из основополагающих принципов технического регулирования, установленных требованиями ст. 3 [3], является принцип применения единых правил установления требований к продукции или связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Авторы провели анализ применения этой нормы в вышеуказанных технических регламентах и сделали следующие выводы:

1. В [1] этот принцип реализован в меньшей степени, чем в [2]. Этим последний документ положительным образом отличается от первого.

2. В [1] объект технического регулирования не идентифицирован. Из требований п. 2 ст. 1 [1] можно установить, что в [1] под ОТР понимается некий ОБЪЕКТ ЗАЩИТЫ. В п. 15 ст. 2 [1] объект защиты характеризуется очень неконкретно, а именно как продукция (здания, строения, сооружения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты), к которой установлены или должны быть установлены требования пожарной безопасности. Согласно [1] к объектам защиты отнесены пожарные автомобили, пожарное оборудование и даже территории населенных пунктов и промышленных объектов.

3. Отсутствие в [1] идентификации ОТР привело к тому, что по [1] стало невозможно установить минимально необходимые требования к конкретным ОТР. Этот вывод имеет подтверждение в п. 1 ст. 1 [1]: “Настоящий Федеральный закон ... устанавливает ОБЩИЕ требования пожарной безопасности к ОБЪЕКТАМ ЗАЩИТЫ”.

4. Вместе с тем в текст [1] было механически перенесено множество технических требований из СНиПов без установления правил идентификации ОТР для применения этих требований, предусмотренных п. 3 ст. 7 [3].

5. При этом многие положения единственного нормативного документа [4], которые можно было бы использовать в качестве правил идентификации ОТР при применении требований [1], СНиПов и других норм, решением Федерального агентства “Ростехрегулирование” (приказом от 30.04.2009 г. № 1573) были исключены из перечня требований, которые необходимо применять совместно с [1].

6. Принятие [1] в варианте, реализующем принцип прямого применения технических требований

(который противоречит требованиям [3]), привело к непростой правовой ситуации: технических требований пожарной безопасности великое множество (уже сейчас их не менее 200 тысяч, и их количество постоянно растет); ОТР (отношения по обеспечению пожарной безопасности), к которым эти технические требования нужно применять, не определены; единственный нормативный документ, который можно было бы применять для идентификации ОТР, по сути, запрещен к применению.

7. Основываясь даже на кратком представлении результатов анализа, можно сделать вывод, что основополагающий принцип технического регулирования “применение единых правил установления требований к продукции или к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), строительства, утилизации” в [1] не реализован, поскольку из текста [1] невозможно однозначно определить не только правила применения технических требований, но и сами ОТР.

8. В [2] ОТР определены в достаточной степени точно и конкретно: правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения минимально необходимых обязательных требований (далее — МНТ) по обеспечению безопасности зданий и сооружений любого назначения (в том числе входящих в их состав сетей инженерно-технического обеспечения и систем инженерно-технического обеспечения), а также связанные со зданиями и с сооружениями процессы проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса) (п. 1, 2, 6 ст. 3).

9. В [2] устанавливаются МНТ для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений на всех стадиях (включая сети и системы инженерно-технического обеспечения): проектирования, строительства и эксплуатации, утилизации (п. 6 ст. 3).

10. Однако принятное в [2] описание общих МНТ пожарной безопасности (ст. 8) не соответствует в полной мере представлениям, принятым в предметной области, о природе процессов развития пожаров и обеспечения пожарной безопасности людей и имущества применительно к указанным ОТР. Так, например, нельзя полностью исключить возможность возникновения пожара в зданиях и сооружениях, обеспечить возможность доступа личного состава подразделений пожарной охраны и доставки средств пожаротушения в любое помещение во время пожара, обеспечить абсолютную возможность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара и др.

11. Принятое описание МНТ по обеспечению пожарной безопасности зданий и сооружений (ст. 8 и 17) не включает в себя также требование по минимизации мероприятий (технических требований)

пожарной безопасности до уровня, соразмерного угрозе жизни и здоровью людей, чужому имуществу и окружающей среде при пожаре, предусмотренное ст. 6 и 7 [3].

12. Кроме того, п. 8 ст. 6 [2] устанавливает возможность отступления от установленных МНТ по безопасности (п. 1 ст. 6), которые носят обязательный характер, через процедуру разработки и согласования специальных технических условий. Получается, что обязательные для применения МНТ, прописанные в федеральном законе, не являются обязательными, раз от них можно отступать. При этом основанием для отступления от обязательных требований федерального закона является согласование этих отступлений с органами по контролю (надзору).

13. СТУ нужно разрабатывать для определения альтернативного (СНиП, НПБ, СП, НС и др.) набора минимально необходимых технических, а не правовых требований. А существующий порядок разработки и согласования СТУ (Приказ Минрегиона России от 1 апреля 2008 г. № 36) не предусматривает разработку в СТУ перечня минимально необходимых технических требований по безопасности, в том числе и перечня по пожарной безопасности.

14. Основываясь на представленных результатах анализа, можно сделать вывод, что основополагающий принцип технического регулирования — “применение единых правил установления требований к продукции или связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), строительства, утилизации” — в [2] реализован хотя и в значительно большей степени, чем в [1], но недостаточно для качественного решения задач технического регулирования в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

Как мы уже неоднократно говорили, указанные обстоятельства создают неблагоприятную среду для проектирования и экспертизы проектной документации, строительства и эксплуатации объектов, что в конечном счете находит свое отражение в инвестиционном климате.

По предложению 3 – внесению изменений в Технический регламент [1]

Реального обсуждения необходимых изменений в [1] пока не произошло ни к концу 2009 г., ни к середине 2010 г. К настоящему времени настала необходимость обсуждения не только изменений в Технический регламент [1], но и в [2].

Авторы считают, что негативная ситуация, обусловленная действующей редакцией [1], нуждается в осознании и осмыслении всеми участниками градостроительного процесса, но в первую очередь ее авторами.

Здесь следует отметить, что Технический регламент [1] был принят с опережением списка первоочередных технических регламентов (п. 1 ст. 9 [3]), поэтому вступление в силу [2], как минимум, требует приведения [1] в соответствие с требованиями [2].

Кроме того, требуется внесение в [1] и других первоочередных изменений, а именно:

- точное и четкое определение объектов технического регулирования;
- введение понятия минимально необходимых требований (правовых и технических);
- установление для объектов технического регулирования правовых минимально необходимых требований пожарной безопасности, в соответствии с которыми каждый участник рынка без дополнительных, явно избыточных, согласований мог бы свободно получать перечень технических минимально необходимых требований мероприятий, соразмерных угрозе жизни и здоровью людей, чужому имуществу и окружающей среде при пожаре;
- исключение из текста технического регламента технических требований и классификаций, которые должны находиться в национальных стандартах и сводах правил;
- исключение нелепостей, примеры которых хорошо всем известны (многие из них обобщены Национальным объединением проектировщиков);
- введение такой формы оценки соответствия, как государственная экспертиза проектной документации.

Первоочередные изменения необходимо вносить и в [2], а именно:

- описание МНТ пожарной безопасности привести в соответствие с представлениями, принятыми в предметной области, о природе процессов развития пожара и обеспечения пожарной безопасности людей и имущества применительно к указанным ОТР (к процессам обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений), которые достаточно полно и подробно представлены в ГОСТ 12.1.004–91* [4];
- в перечень МНТ пожарной безопасности включить требование по минимизации мероприятий (технических требований) пожарной безопасности до уровня, соразмерного угрозе жизни и здоровью людей, чужому имуществу и окружающей среде при пожаре, предусмотренное ст. 6 и 7 [3];
- в п. 8 ст. 6 включить требование, что в случаях, предусмотренных в п. 8 ст. 6 [1], разработанные и согласованные СТУ должны содержать перечень МНТ по безопасности, в том числе по пожарной безопасности.

Кроме того, в целях надлежащего исполнения требований п. 1 ст. 6 [2] необходимо провести глуб-

бокую переработку СНиПов, НПБ, СП и других нормативных документов, выполнением которых на обязательной основе будет обеспечиваться пожарная безопасность ОТР. Такая работа необходима для приведения этих документов в соответствие с принятыми нормами технического регулирования, а именно:

- типовой набор технических требований пожарной безопасности должен соответствовать представлениям, принятым в предметной области, о природе процессов развития пожара и обеспечения пожарной безопасности людей и имущества, т. е. должно быть однозначно понятно, для достижения каких целей нужно то или иное мероприятие (для обеспечения пожарной безопасности людей или имущества);
- типовой набор технических требований пожарной безопасности должен реализовывать требование, предусмотренное ст. 6 и 7 [3], по минимизации мероприятий (технических требований) пожарной безопасности до уровня, соразмерного угрозе жизни и здоровью людей, чужому имуществу и окружающей среде при пожаре.

Предложения, которые сформулированы в данной статье, нацелены на переход к новому этапу в развитии технического регулирования. Социально-экономические условия развития страны обусловили настоятельную необходимость в переходе от пренебрежения соответствия типовым требованиям пожарной безопасности к идентификации объектов

по признакам пожарной безопасности для людей и имущества.

Авторы намерены продолжить мониторинг в области установления и применения требований пожарной безопасности и поделиться с заинтересованными читателями результатами своих наблюдений.

* * *

Когда статья готовилась к печати, распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 1047-р был утвержден перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона [2]. В этот перечень не были включены технические требования по пожарной безопасности. При этом в соответствии с положениями пп. 5 и 6 ст. 3 [2] требования Технического регламента [1] были переведены в разряд ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ, т. е. не относящихся к обязательным минимально необходимым требованиям. В этой ситуации для любого здания и сооружения на любой основной стадии его жизни (проектирования, строительства, эксплуатации) требуется определение перечня минимально необходимых и поэтому обязательных технических требований пожарной безопасности. Это определение должно быть произведено в строгом соответствии с законодательством в области технического регулирования и учитывать реальные угрозы людям и имуществу.

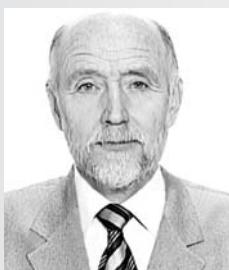
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ : принят Гос. Думой 23 декабря 2009 г. : одобр. Советом Федерации 5 декабря 2009 г. [электронный ресурс]. URL : <http://www.gost.ru> (дата обращения: 21.06.2010).
3. О техническом регулировании : Федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ : принят Гос. Думой ФС РФ 15 декабря 2002 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — № 52 (часть I). — Ст. 5140; 2005. — № 19. — Ст. 1752; 2007. — № 19. — Ст. 2293; 2007. — № 49. — Ст. 6070; 2008. — № 30 (часть II). — Ст. 3616.
4. ГОСТ 12.1.004—91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 1992-07-01. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.
5. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений : утв. Минстроем России 13 февраля 1997 г. : ввод. в действие с 1 января 1998 г. — М. : ГУП ЦПП, 2002.

*Материал поступил в редакцию 21 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: vkorobko@mail.ru.*

**С. Г. Котов**

канд. техн. наук, начальник управления сопровождения и координации НИОКР Научно-исследовательской части – Главного управления науки, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

**Л. П. Круль**

д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

**О. Д. Навроцкий**

старший научный сотрудник НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

**В. К. Емельянов**

старший научный сотрудник НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

УДК 614.942.612

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕТУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЛАРУССКИХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КАРТРИДЖЕЙ-СМАЧИВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Приведены характеристики огнетушащей эффективности белорусских картриджей-смачивателей для тушения пожаров. Экспериментально доказано, что белорусские картриджи-смачиватели по огнетушащей эффективности превосходят импортный аналог "Pyrocool TS" в 1,5 раза. Выполнен сравнительный анализ свойств картриджа-смачивателя для тушения пожаров белорусского производства и твердых смачивателей российского производства.

Ключевые слова: картридж-смачиватель для тушения пожаров, твердотельный источник поверхностно-активных веществ, ручной комбинированный пожарный ствол, огнетушащая эффективность, модельный очаг пожара, полиэтиленгликоль.

В[1] рассмотрены теоретические аспекты получения водных растворов поверхностно-активных веществ из твердотельных составов, а также приведены результаты экспериментального исследования водных растворов и твердотельных составов на основе полиэтиленгликолей и поверхностно-активных веществ. В результате исследований установлены составы для создания твердотельных источников смачивателей для тушения пожаров.

На момент начала исследования огнетушащей эффективности твердотельных картриджей-смачивателей нормативные документы, регламентирующие методы испытания этих огнетушащих веществ, в Республике Беларусь и Российской Федерации отсутствовали. Основываясь на опыте создания и испытания белорусских пенообразователей для тушения пожаров [2–8], мы предложили методику исследования огнетушащей эффективности твердофазного источника смачивателя.

Процедура исследования огнетушащей эффективности твердофазных картриджей-смачивателей изложена в "Программе и методике проведения испытаний твердофазных источников растворов

ПАВ для тушения пожаров класса А" № 52/07М от 23.09.2004. В соответствии с этим документом огнетушащая эффективность картриджей-смачивателей оценивается по изменению количества огнетушащего вещества, израсходованного на тушение модельного очага пожара класса А.

К моменту проведения исследований огнетушащей эффективности твердотельных картриджей-смачивателей в Республике Беларусь был разработан отечественный ручной комбинированный пожарный ствол СПРК-50, который, как и ствол "Rambo Jet", позволяет использовать твердофазный источник смачивателя и получать сплошную или распыленную струю воды.

Внешний вид ствола и его основные характеристики, взятые из [9], приведены на рис. 1 и в табл. 1.

В соответствии с постановлениями Совета Министров Республики Беларусь [10, 11] в 2008 и 2009 годах органами и подразделениями по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь приобретено 150 таких стволов.

С целью оценки огнетушащей эффективности картриджа-смачивателя с помощью ствола типа

© Котов С. Г., Круль Л. П., Навроцкий О. Д., Емельянов В. К., 2010



Рис. 1. Вид ручного комбинированного пожарного ствола СПРК-50

“Rambo Jet” определялось количество воды, необходимое для тушения очага пожара, без использования и с использованием твердофазного источника в составе ствола.

Для проведения испытаний использовалось следующее оборудование: автомобиль пожарный АЦ-40; 2 рукава пожарных прорезиненных диаметром 51 мм, длиной 20 м; ствол типа “Rambo Jet”; счетчик воды СТВ или СТВГ (1...40 л/с, цена деления 1 л, погрешность 0,005 л/с); линейка (0...1000 мм, цена деления 1 мм, класс точности 2); рулетка (0...5000 мм, цена деления 1 мм, класс точности 2); весы электронные (0...15 кг, цена деления 0,02 кг, класс точности 2); секундомер СОПпр-2а- 3-000 (0...30 мин, цена деления 0,2 с, класс точности 2); влагомер ЭВ-2К (1...100 %, цена деления 1 %, класс точности 1,5); термометр ртутный (-50... +50 °C, цена деления 1 °C, класс точности 2); емкость мерная (0...10 л, цена деления 0,2 л); анемометр (0...10 м/с, (5 % отн. $+0,3$) м/с); противень металлический с nominalным диаметром (1480 ± 15) мм и высотой (230 ± 5) мм; манометр (0...1,0 МПа, цена деления 0,01 МПа, класс точности не ниже 1,5); 2 уголка стальных длиной 2400 мм по ГОСТ 8510; блок бетонный или металлический высотой (400^{+10}) мм; брус из хвойных пород древесины по ГОСТ 8486 не ниже 3-го сорта сечением (50 ± 5) мм, длиной (1500 ± 50) мм, влажностью (12^{+2}) % в количестве ($1,37^{+0,05}$) м³ на один опыт; бензин А-76 по ГОСТ 2088-84 или гептан технический (Нефрас С2 80/120 по ТУ 38.401-67-108) в количестве ($49,0 \pm 1,0$) л на один опыт; вода питьевая по ГОСТ 2874-82.

Испытания проводились при температуре воздуха 5...30 °C, атмосферном давлении 84...106,7 кПа, относительной влажности 30...80 %, скорости ветра, не превышающей 2 м/с, и отсутствии осадков.

Место для проведения испытаний выбирали таким образом, чтобы модельный очаг пожара находился на ровной поверхности на расстоянии не менее 10 м от силовых кабелей.

Модельный очаг представлял собой деревянный штабель в виде куба и состоял из 366 брусков сечением (50 ± 5) мм, длиной (1500 ± 50) мм. Число брусков в верхнем и нижнем слоях — по 15, в остальных слоях — по 12. Число слоев — 30. Зазор

Таблица 1. Технические характеристики ручного комбинированного пожарного ствола СПРК-50

Показатель	Значение
Рабочее давление на входе, МПа	$0,7 \pm 0,02$
Расход компактной струи, л/с, не менее	4,3
Дальность компактной струи, м, не менее	30
Расход распыленной струи, л/с, не менее	2
Дальность распыленной струи, м, не менее	12
Эффективная дальность распыленной струи, м, не менее	5
Средняя интенсивность орошения распыленной струи, л/(с·м ²), не менее	0,10
Расход воды защитной завесы, л/с, не менее	0,9
Угол факела защитной завесы, град, не менее	120°
Габаритные размеры, мм	(580×270× ×115) ± 5
Масса ствола, кг, не более	3
Срок службы ствола, лет, не менее	8



Рис. 2. Проведение огневых испытаний

между брусками в верхнем и нижнем слоях — по (50 ± 5) мм, в остальных — по (80 ± 5) мм. Штабель выкладывали так, чтобы бруски каждого последующего слоя были перпендикулярны брускам нижележащего слоя. При этом по всему объему образовывались каналы прямоугольного сечения (рис. 2).

Штабель размещали на двух стальных уголках, установленных на бетонных или металлических блоках.

Противень помещали под штабель таким образом, чтобы центры штабеля и противня совпадали.

Пожарный автомобиль размещали на безопасном и удобном для работы оператора расстоянии от очага пожара, но не далее 30 м от него и не ближе 1 м к конструкциям здания.

Прокладывали рукавную линию, в которую для контроля расхода воды и рабочего давления подключали счетчик воды СТВ или СТВГ и манометр. Подключали ствол типа "Rambo Jet".

Заливали в противень слой воды толщиной (69 ± 3) мм. При этом образовывалось гладкое зеркало, компенсирующее неровности дна противня. Замер высоты слоя воды проводили в наиболее неблагоприятной точке по площади противня. На слой воды наливали бензин или технический гептан в количестве $(49,0 \pm 1)$ л.

Для определения расхода воды на тушение модельного очага пожара запускали двигатель пожарного автомобиля и устанавливали рабочее давление в рукавной линии 0,6 МПа. Контроль рабочего давления осуществляли с помощью манометра, установленного в рукавной линии.

Поджигали горючее в противне и включали секундомер. После того как время горения штабеля, с учетом времени выгорания бензина, достигало (420 ± 60) с, приступали к его тушению.

Открывали перекрывной вентиль на стволе за (20 ± 5) с до начала тушения. Поворотом рукоятки на форсунке ствола добивались наиболее тонкого распыла воды.

Фиксировали показания счетчика воды и засекали время с момента начала тушения. Тушение начинали с фасада модельного очага при начальном расстоянии до него 5 м. В процессе тушения это расстояние разрешалось уменьшать до 1 м.

При исчезновении очагов открытого горения закрывали вентиль на стволе и включали секундомер. Фиксировали время тушения и расход воды на тушение модельного очага пожара. Фиксировали время до повторного воспламенения очага. Очаг считался потушенным, если в течение 10 мин на нем не появлялись новые источники открытого пламени.

Испытание включало в себя три опыта. При различии расходов воды в первых двух опытах не более чем на 10 % третий опыт не проводился.

С целью определения расхода воды при использовании твердотельного источника смачивателя определяли массу картриджа с помощью весов и заправляли его в перфорированный тубус ствола. Определяли расход раствора смачивателя на тушение модельного очага пожара по аналогии с определением расхода воды на тушение модельного очага пожара. Извлекали из ствола и взвешивали остатки картриджа. Фиксировали потерю его массы.

Огнетушащую эффективность твердотельного источника смачивателя оценивали на основании сравнения значений количества воды, израсходованной на тушение без применения и с применением картриджа в составе ствола.

Показатель относительной огнетушащей эффективности твердотельного источника смачивателя E рассчитывали по формуле

$$E = V_{\text{в}} / V_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{в}}$ и $V_{\text{к}}$ — объем соответственно воды и раствора смачивателя, израсходованных на тушение очага пожара, дм³.

Для расчета показателя огнетушащей эффективности использовали среднее арифметическое значение величин $V_{\text{в}}$ и $V_{\text{к}}$, полученных в результате проведения не менее двух опытов, в которых не происходило повторного возгорания.

Для исследования огнетушащей эффективности твердофазного источника смачивателя в соответствии с рецептурой (РЦ РБ 100235722.001–2004) была синтезирована партия твердотельных источников ПАВ, представляющих собой цилиндрические картриджи диаметром 49 мм и длиной 279 мм. Синтез проводился в соответствии с разработанным лабораторным регламентом получения твердофазных источников растворов ПАВ.

Согласно лабораторному регламенту для получения твердотельных источников смачивателя использовались полиэтиленгликоль-4000 и вторичный алкилсульфонат натрия.

Для синтеза твердотельного источника смачивателя использовался полиэтиленгликоль, выпускаемый в соответствии с ТУ 6-14-826-86 в виде чешуек белого цвета. Температура его кристаллизации 50...55 °C; концентрация ионов водорода 5 %-ного водного раствора 4...7.

Полиэтиленгликоль подвержен термоокислительной и термической деструкции при температуре выше 310 °C; является неионогенным ПАВ, со средней молекулярной массой 4000; хорошо растворим в воде при комнатной температуре, но выпадает в осадок из водных растворов при температуре выше 100 °C, а также при введении неорганических солей.

Вторичный алкилсульфонат натрия (наименование по INCI — натрий С 14–17 вторичный алкилсульфонат) выпускается в виде воскообразных гранул желтого цвета. Точка размягчения менее 200 °C; кажущаяся плотность около 600 кг/м³; растворимость в воде приблизительно 300 г/л при 25 °C. Гранулы вторичного алкилсульфоната натрия очень гигроскопичны. Концентрация ионов водорода при концентрации 10 г/л и температуре раствора 20 °C составляет около 7. Данное вещество обладает хорошей смачивающей способностью (около 2 с для 0,3 %-ного раствора) и существенно снижает поверхностное натяжение воды (0,1 %-ный раствор имеет поверхностное натяжение на 54 % меньше, чем дистиллированная вода).

Технологический процесс получения твердотельного источника ПАВ в соответствии с лабораторным регламентом состоял из следующих стадий: взвешивания необходимых количеств компонентов, нагревания смеси компонентов до получения расплава; перемешивания расплава до однородной массы; заливки расплавленной массы в форму; охлаждения расплава до твердого состояния изделия; извлечения готового изделия из формы; упаковки и маркировки изделия.

Для получения композиций готовили расчетные количества компонентов путем взвешивания на весах ВТН-10 с точностью до 5 г.

Перед засыпкой компонентов в емкость для получения расплава проверяли ее чистоту. Емкость должна быть чистой, без остатков посторонних продуктов. После загрузки смеси компонентов в емкость ее нагревали на плитке или в термошкафу до 100 °С. Полученный расплав перемешивали до однородной массы.

Для получения картриджа твердотельного источника смачивателя использовали пластмассовую трубу диаметром 49 мм и длиной 300 мм, закрытую с одной стороны крышкой.

Полученный расплав выливали в форму, а остатки расплава соскребали со стенок емкости металлическим шпателем. После заливки расплава в форму ее помещали под струю холодной воды для быстрого охлаждения. После затвердевания расплава картридж извлекали из формы, выталкивая его поршнем. Для снижения усилия на поршень форму поливали горячей водой (70...90 °С).

Готовые картриджи вкладывали в полиэтиленовые мешки и укладывали в пластмассовые или картонные коробки. Последние марковались и предназначались для хранения в сухом месте при температуре от -40 до +35 °С. Коробки с картриджами при хранении и транспортировке необходимо предохранять от атмосферных осадков.

По разработанному лабораторному регламенту синтезирована экспериментальная партия твердотельных источников ПАВ, представляющих собой цилиндрические картриджи диаметром 49 мм и длиной 279 мм.

Результаты токсиколого-гигиенической экспертизы твердофазного источника раствора ПАВ, изготовленного по РЦ РБ 100235722.001–2004, показали, что синтезированные составы системы ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия относятся к малоопасным веществам (IV класс опасности по ГОСТ 12.1.007–76); не обладают раздражающим и кожно-резорбтивным действием в условиях однократного воздействия на неповрежденные кожные покровы лабораторных животных; вызывают слабо выраженное раздражение слизистых оболочек глаз.

Таблица 2. Результаты сравнительных огневых испытаний разработанного твердотельного источника смачивателя и зарубежного аналога “Ругос cool TS”

Показатель	Значение показателя		
	Вода	Разработанный состав	Ругос cool TS
Время тушения распыленной струей, с	101	56	82
Расход раствора (воды) на тушение, л	594	329	482
Расход твердотельного ПАВ, г	–	95	116
Относительная огнетушащая эффективность	1,00	1,80	1,23

Результаты исследования огнетушащей эффективности разработанного твердофазного источника смачивателя и зарубежного аналога “Ругос cool TS” в соответствии с разработанной методикой приведены в табл. 2.

Результаты сравнительных огневых испытаний свидетельствуют о том, что использование твердотельных источников смачивателей позволяет сократить время тушения и, как следствие, расход жидкого огнетушащего вещества на тушение. Синтезированный опытный образец твердотельного картриджа повышает огнетушащую эффективность воды в 1,8 раза, тогда как импортный аналог (картридж “Ругос cool TS”) — только в 1,2 раза.

Таким образом, синтезированный опытный образец твердотельного источника смачивателя по огнетушающей эффективности превосходит импортный аналог в 1,5 раза.

На основании результатов испытаний разработаны, согласованы, утверждены и зарегистрированы ТУ BY 101114857.062–2007 “Смачиватели-картриджи для тушения пожаров “Эффект СК”.

На момент завершения испытаний белорусских картриджей-смачивателей информация о российских твердотельных смачивателях отсутствовала, поэтому провести сравнительные испытания огнетушащей эффективности белорусских и российских огнетушащих составов не представилось возможным. Результаты сопоставления свойств белорусских картриджей-смачивателей с российскими твердотельными смачивателями [12–14] приведены в табл. 3.

Как видно из таблицы, все российские твердотельные смачиватели имеют одни габаритные размеры. Белорусские картриджи выпускаются двух типоразмеров. Картриджи СК45/200 используются для установки в ручной комбинированный пожарный ствол СПРК-50 белорусского производства, а картридж СК50/280 — в импортные стволы “Rambo Jet”. Белорусские и российские твердотельные

Таблица 3. Свойства российских и белорусских картриджей-смачивателей

Показатель	Марка российского смачивателя			Марка белорусского смачивателя	
	Ливень-ТС	Ливень-ТС “Пенный”	Ливень-ТС “Флора”	СК45/200	СК50/280
Габаритные размеры картриджа-смачивателя, мм:					
диаметр	50 ± 1	50 ± 1	50 ± 1	44 ± 1	49 ± 1
высота	250 ± 3	250 ± 3	250 ± 3	199 ± 1	279 ± 1
Масса, г	Не менее 580			350 ± 15	600 ± 20
Понижение поверхностного натяжения воды	Минимально 40 %			Не более 45 мН/м	
pH 0,5%-ного раствора	6,0–10,0	6,0–10,0	6,0–10,0	6,0–7,0	6,0–7,0
Показатель смачивающей способности 0,5 %-ного раствора, с	Не более 9	Не более 9	Не более 9	Не более 5*	Не более 5*
Полная растворимость, л, не менее	2500	2500	2500	1500	2500
Температура размягчения, °C	Свыше 35	Свыше 35	Свыше 35	Не менее 50	Не менее 50
Температура плавления, °C	Свыше 60	Свыше 60	Свыше 60	–	–
Растворимость в воде, %	100	100	100	–	–
Растворимость в воде за 30 мин, %	–	–	–	Не менее 55	Не менее 55
Водопоглощение, %, не более	–	–	–	5	5
Температурные пределы хранения, °C	–20...+35	–20...+35	–20...+35	–40...+35	–40...+35
Температурный интервал использования, °C	–	–	–	0...+35	0...+35
Гарантийный срок хранения в оригинальной упаковке, мес.	12	12	12	24	24
Сохраняемость в оригинальной упаковке, лет, не менее	10	10	10	–	–
Коррозионность	Материал не вызывает коррозии				

* При концентрации 0,3 %.

смачиватели близких типоразмеров имеют близкие значения массы, pH, полной растворимости, снижения поверхностного натяжения и коррозионной активности.

В то же время, приводя данные о снижении поверхностного натяжения, российские производители не указывают концентрацию раствора, при которой достигается этот результат. Для белорусских картриджей-смачивателей снижение поверхностного натяжения до 45 мН/м достигается при концентрации 0,024 % масс., равной рабочей концентрации раствора, получаемого при использовании картриджа для тушения пожаров.

Показатель смачивающей способности в ТУ ВУ 101114857.062–2007 “Смачиватели-картриджи для тушения пожаров “Эффект СК” не устанавливается. Однако в [1] показано, что этот показатель для 0,3 %-ных растворов не превышает 5 с, в то время как для 0,5 %-ных водных растворов российских твердотельных смачивателей “Ливень ТС” он не превышает 9 с. Кроме того, белорусские картриджи-смачиватели превосходят российские твердотельные

смачиватели по показателям температурных пределов хранения и гарантийному сроку хранения.

Сравнить растворимость в воде российских и белорусских картриджей-смачивателей не представлялось возможным, так как даже из указания параметров видно, что методики их определения различны.

Очень важным параметром, по мнению авторов настоящей работы, является показатель водопоглощения, приводимый для белорусских картриджей и отсутствующий для российских аналогов.

Справедливо ради следует указать, что российские разработчики приводят такой параметр, как сохраняемость в оригинальной упаковке, который отсутствует у белорусских картриджей-смачивателей для тушения пожаров. Вместе с тем выпуск белорусских и российских твердотельных смачивателей начал недавно, и натурными испытаниями данный параметр подтвердить не представляется возможным. К сожалению, ускоренные методики определения сохранности картриджей-смачивателей авторам настоящей работы неизвестны, вследствие чего этот параметр не определялся.

Данные, приведенные в настоящей работе и в работе [1], свидетельствуют о том, что картриджи-смачиватели для тушения пожаров “Эффект СК” белорусского производства превосходят не только

твердотельный смачиватель “Pyrocool TS”, но и по многим параметрам твердые смачиватели “Ливень-ТС”, “Ливень-ТС Пенный” и “Ливень-ТС Флора” российского производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котов С. Г., Круль Л. П., Котов Д. С. Создание белорусских твердотельных смачивателей для тушения пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 53–61.
2. Тычино Н. А., Котов С. Г., Дедюля Н. Н., Навроцкий О. Д. Использование пенообразователя ПО-ПНБ-01 при тушении реальных пожаров // Научное обеспечение пожарной безопасности. — 1997. — № 5. — С. 51–55.
3. Тычино Н. А., Котов С. Г., Навроцкий О. Д. Из зарубежного и отечественного опыта использования новых огнетушащих средств // Научное обеспечение пожарной безопасности. — 1997. — № 6. — С. 49–53.
4. Котов, С. Г., Навроцкий О. Д., Левыкин А. П., Залевский А. В. Результаты апробации отечественных пенообразователей // Научное обеспечение пожарной безопасности. — 1998. — № 7. — С. 32–35.
5. Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Емельянов В. К. Пленкообразующие пенообразователи для тушения пожаров и локализации аварий с утечками нефти и нефтепродуктов // Научное обеспечение пожарной безопасности. — 2001. — № 10. — С. 87–91.
6. Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Емельянов В. К. Разработка пенообразователя для тушения пожаров на основе углеводородных ПАВ и модифицирующих добавок // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2002. — № 2(12). — С. 106–111.
7. Навроцкий О. Д., Котов С. Г., Котов Д. С. Разработка пленкообразующего пенообразователя для тушения пожаров // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2005. — № 8(18). — С. 84–95.
8. Котов С. Г., Заневская Ю. В., Навроцкий О. Д., Емельянов В. К. Результаты разработки и внедрения технологии ликвидации пожаров на торфяниках // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2008. — № 1(23). — С. 73–86.
9. Ствол пожарный ручной комбинированный СПРК-50 (Hand-Held Branchpipe “SPRK-50”) / НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://niipb.deal.by/p33395-stvol-pozharnyj-ruchnoj.html> (дата обращения: 08.04.2010).
10. О перечне республиканских государственных нужд, а также государственных заказчиков по поставкам (закупкам) товаров (работ, услуг) для республиканских государственных нужд на 2008 год : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 января 2008 г. № 136 // Эталонный банк данных правовой информации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://pravo.by/webnra/text.asp?RN=C20800136> (дата обращения: 08.04.2010).
11. О перечне республиканских государственных нужд, а также государственных заказчиков по поставкам (закупкам) товаров (работ, услуг) для республиканских государственных нужд на 2009 год : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2009 г. № 108 // Эталонный банк данных правовой информации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://pravo.by/webnra/text.asp?RN=C20900108> (дата обращения: 08.04.2010).
12. Твердый смачиватель Ливень-ТС (Россия) / ООО “Лесснаб” [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.lessnab.karelia.ru/liventct.htm> (дата обращения: 08.04.2010).
13. Твердый смачиватель Ливень-ТС “Флора” (Россия) / ООО “Лесснаб” [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.lessnab.karelia.ru/liventc.htm> (дата обращения: 08.04.2010).
14. Твердый смачиватель Ливень-ТС “Пенный” (Россия) / ООО “Лесснаб” [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.lessnab.karelia.ru/liventcp.htm> (дата обращения: 08.04.2010).

*Материал поступил в редакцию 29 апреля 2010 г.
Электронные адреса авторов: kotovg@bsu.by, kotov_sergei@rambler.ru,
oleg.navrotsky@tut.by, 6832340@tut.by.*



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

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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

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

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

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

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

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

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

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

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

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

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

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

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

Июль 2010 г.

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
НОВИНКИ			
Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!			
	Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	978-5-91444-012-8	1500
	Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с.		220
Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.	Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	380
Бондарь В. А.	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
Корольченко А. Я.	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	350
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	250
Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	140
Пилигин Л. П.	Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	450
Смелков Г. И.	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	540
Черкасов В. Н., Зыков В. И.	Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: ученое пособие. — 2010. — 430 с.	Выходит в августе 2010 г.	
Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч.1. — 316 с.; Ч. 2 — 300 с.	978-5-91444-008-1	950
СУПЕРСКИДКИ			
Баранин В. Н.	Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — 2004. — 332 с.	5-901-283-02-5	70
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты: справочник. — 2006. — 258 с.: ил.	5-903049-04-4	100
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
Собурь С. В.	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
Собурь С. В.	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	280
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиной А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	280

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	280
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2009. — 294 с. ГОТОВИТСЯ ПЕРЕИЗДАНИЕ КНИГИ!	978-5-91444-011-1	400
Брушилинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Горшков В. И.	Тушение пламени горючих жидкостей. — 2007. — 268 с.	5-903049-08-7	250
Грачев В. А., Собурь С. В.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
Долговидов А. В., Теребнев В. В.	Автоматические установки порошкового пожаротушения. — 2008. — 322 с.	978-5-91444-005-X	310
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2008. — 314 с.	5-903049-10-9	300
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	2500
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	540
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
Пилигин Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Собурь С. В.	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
Собурь С. В.	Краткий курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — Изд. 4-е, с изм. и доп. — 2010. — 320 с.: ил.	978-5-98629-016-4	180
Собурь С. В.	Огнетушители: учебно-справочное пособие. — Изд. 6-е, с изм. — 2009. — 80 с.	978-5-98629-020-1	70
Собурь С. В.	Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил.	978-5-98629-014-0	125
Собурь С. В.	Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: пособие. — Изд. 12-е, перераб. — 2008. — 496 с.: ил.	978-5-98629-023-2	250
Собурь С. В.	Пожарная безопасность промпредприятий: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с.	5-98629-013-5	110
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 272 с.	5-98629-012-7	145
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В.	Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: справочник. — 2007. — 256 с.: ил.	5-902604-06-0	330
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В.	Управление силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 264 с.	5-98135-009-1	330
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Организация службы пожарной части: учебное пособие. — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	460
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушный А. В., Грачев В. А.	Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	330
Теребнев В. В., Ульянов Н. И., Грачев В. А.	Пожарная техника: учебное пособие: в 2 т. — 2007. — Т. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. — 328 с.; Т. 2: Пожарные машины. Устройство и применение. — 328 с.: ил.	5-91017-016-4 5-91017-016-5	495
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

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

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

Подписка осуществляется через следующие агентства:

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

Образец заявки для оформления заказа на литературу

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

Желающие сделать заказ в “Издательстве “Пожнаука” (г. Москва)

могут отправить заявку в отдел распространения:

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



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры и краткие сообщения, комментарии и собственно нормативно-технические документы, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные автора должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общезвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации желательны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

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

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

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

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

5. Иллюстрации (на бумажном носителе и электронные версии) прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики представляются в формате той программы, где они созданы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

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

7. Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования или по алфавиту. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на языке оригинала. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

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

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Analysis of Researches of Hydrogen Fire Hazard in Normal Conditions

Vasyukov G. V., Cand. of Technics, Associate Professor of Combustion Processes Department of the Academy of State Fire Fighting Service of Emercom RF, Moscow, Russia

Kozhin P. A., Postgraduate Student of the Academy of State Fire Fighting Service of Emercom RF, Moscow, Russia

Generalization and analysis of researches of hydrogen fire hazard in conditions when ambient and hydrogen mixtures temperature before reaction is near 20 °C, and starting pressure of mixtures conform to atmospheric are carried out. Main directions of study of hydrogen fire hazard: influence of a different retarders and inhibitors on fire and explosion hazard properties of hydrogen-inclusive mixtures, ensuring of fire safety of technological processes with the participation of hydrogen, change the conditions and parameters of explosion of hydrogen-inclusive mixtures (concentration limits of fire spread, maximal explosion pressure, velocity of increase of explosion, normal combustion velocity), investigation of kinetics of hydrogen combustion reactions, influence of a space encumberancy on intensification and suppression of combustion process of hydrogen-aerial mixtures are selected.

Key words: hydrogen, fire hazard, fire and explosion safety, detonation, deflagration, oxidation, kinetics, inhibition, retardation, chain-radical mechanism.

Problems of Heat Loss Decreasing and Ensuring of Fire Safety of Heat Insulation Constructions

Belykh A. F., Postgraduate Student of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Fahrislamov R. Z., Cand. of Technics, Associate Professor of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

The problem of heat loss decreasing is examined by way of scale introduction of modern heat insulation constructions on the basis of high-performance heat insulation materials having good thermal properties, wide temperature range of application and long service life. Fire risk rates of a heat insulation constructions of pipelines with due regard for service conditions are analyzed.

Key words: pipelines, heating mains, heat shielding, heat transfer, heat conductivity, heat insulation, heat loss, energy-saving, heat supply, heat networks, polyurethane foam, channel-free laying, mineral wool, energy loss, dehumidification, coefficient of heat conductivity, ground laying, underground laying, combustibility, combustion,

fire risk, oil products, power inputs, oil, fire, polymers, heat flows, cost efficiency, tanks, operating life, drainage.

Features of the Estimation of Buildings and Constructions Resistance from Reinforced Concrete Designs at the Combined Hazardous Effects with Fire Participation

Roytman V. M., Dr. of Technics, Professor of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Pristupiyuk D. N., Engineer of Moscow State Fire Academy, Moscow, Russia

Problems of protection of buildings and constructions are considered at the combined hazardous effects (CHE) with fire participation. Bases of the theory of the buildings and designs resistance are resulted at the CHE with fire participation. Possibility of application of this theory for carrying out of estimations of resistance of objects from reinforced concrete designs is considered at the CHE with fire participation. Offers under the account of features of maintenance of safety of people in buildings and constructions are resulted at the CHE with fire participation, at risk estimations.

Key words: progressing collapse of the buildings, combined hazardous effects of the impact-explosion-fire type, fire resistance of the buildings, risks.

Modeling of Recognition System of Leaks Fire-Dangerous, Harmful and Toxic Substances in the Closed Premises

Vatagin V. S., Cand. of Chemistry, Professor of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Ivanovo, Russia

Zhukov V. P., Dr. of Technics, Professor of Ivanovo State Power University, Ivanovo, Russia

Barochkin E. V., Dr. of Technics, Professor of Ivanovo State Power University, Ivanovo, Russia

Vlasyuk A. A., Postgraduate Student of National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

On the basis of the Markov's theory of chains the design procedure of concentration fields of harmful and toxic substances in the closed premises is offered, the approach to recognition of a danger class of leaks of harmful and toxic substances is developed, the multicriterial problem of optimization of recognition system is formulated and its decision with use of Pareto algorithms is offered.

Key words: modeling, recognition system of leaks, fire-dangerous, harmful and toxic substances, Markov's theory of chains, Pareto algorithms.

Fire Safety of Buildings and Constructions in a Context of Two Federal Laws: “Technical Enactment about Fire Safety Requirements” and “Technical Enactment about Safety of Buildings and Constructions”

Korobko V. B., Dr. of Technics, Professor

Glukhovenko Yu. M., Dr. of Technics, Professor

Substitution of close «hand» mechanism of pseudo-regulation of fire safety ensuring relations in building sector by open “automatic” mechanism of making impartial decision has a highest priority today. It'll lead to essential cut in nonmanufacturing expenditure and decline in building value. In such situation main problem of substitution of making decision instrument consist not in absence of legal foundation, but in its ignoring by some participants of building activity. Self-contradictory decision of this problem becomes adoption of an effective version of “Technical Enactment about Safety of Buildings and Constructions”. In situation of artificially made chaos in fire safety technical regulation (it's too much technical requirements and no generally accepted rules of its application) building sector haven't more important task than searching a way out of the hands-on situation in fire area rate settings. Analysis of the situation is given; comparison of contents of a “Technical Enactment about Fire Safety Requirements” and “Technical Enactment about Safety of Buildings and Constructions” with viewpoint of technical regulation principles is drawn; suggestions about overcoming of negative tendencies are formulated.

Key words: Technical enactment about fire safety requirements, Technical enactment about safety of buildings and constructions, compulsory minimally indispensable fire safety requirements, identification of fire safety tech-

nical requirements depending on concrete object of a technical regulation.

Research Work on Fire Extinguishment Efficiency Determination of Belarusian Solid State Cartridges with Penetrating Agent for Fire Fighting

Kotov S. G., Cand. of Technics, Head of R&D Support and Coordination Division of the Central Directorate for Science of the Belarusian State University, Minsk, Belarus

*Krul L. P., Dr. of Chemistry, Professor,
Head of Chair of High Molecular Compounds
of the Belarusian State University, Minsk, Belarus*

Navrotskii O. D., Senior Researcher of Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE-Belarus) of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Emelyanov V. K., Senior Researcher of Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE-Belarus) of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Fire extinguishing efficiency characteristics of belarusian solid state cartridges with wetting agent for fire fighting are presented. The belarusian solid state cartridges with wetting agent have been proved experimentally to be more efficient (in 1.5 times) as against its foreign analog “Pyrocool TS”. A comparative analysis of properties of belarusian and russian solid state cartridges with wetting agent for fire fighting has been carried out.

Key words: wetting cartridge for fire fighting solid state source of Surface-active substance, manual all-purpose nozzle, fire fighting efficiency, standardized fire source, polyoxyethylene glycol.

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

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

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

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

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюхантцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

профессор Т. Дж. Шилдс

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

Редакция:

Главный редактор журнала

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

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редакторы:

Л. В. Крылова, Т. В. Сергунина

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

Chairman of Editorial Council:

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

Deputy of Chairman of Editorial Council:

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

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

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

Editorial Council:

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

Dr.Sc.(Eng.), Professor N. M. Barbin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian Federation N. N. Brushlinsky

Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev

Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko

Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences A. V. Mishuev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy V. M. Roitman

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science B. B. Serkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, National Academy of Fire Science N. G. Topolskiy

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science Yu. N. Shebeko

Professor Thomas Jim Shields

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member of the Russian Academy of Natural Sciences V. V. Kholshchevnikov

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editors:

L. V. Krylova, T. V. Sergunina

PR and Subscription Section:
E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34

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

E-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 07.07.10.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство "Пожнauка" предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве" на 2010 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и три номера журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и шесть номеров журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7580 руб. (в том числе НДС — 18 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2010

Издание	Цена подписки, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год	3790 7580		
Журнал "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год	1140 2280		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 445-42-34 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 445-42-34**

ПОДПИСКА:

через редакцию журнала "Пожаровзрывобезопасность";
через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;

через агентство "АПР", индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");

через подписные агентства:

ООО "Интер-почтa", ООО "Урал-Пресс XXI",
ООО "Артос-ГАЛ", ООО "Информнаука", ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА"

Вы можете также отдельно подписаться на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. (в том числе НДС — 18 %). Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Расширяя тематику журнала, в 2010 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

**Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания
по тематике журнала и содержанию публикуемого материала.
Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!**



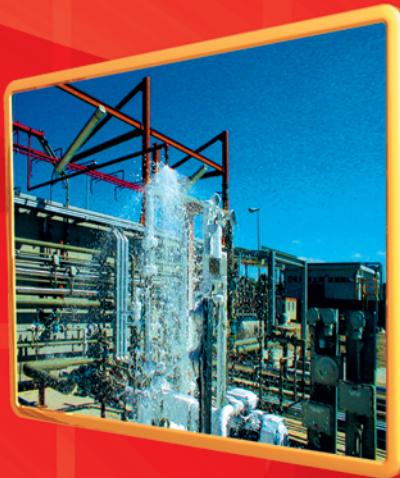
Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь
типа АFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.**



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности.
Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности.
С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

ISSN 0869-7493

