

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

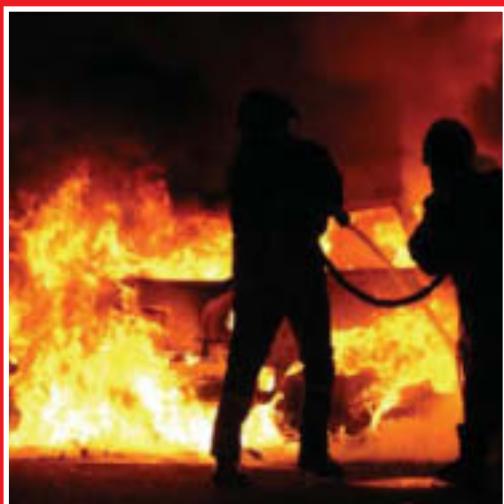
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

4'2010

Методика расчета основных параметров тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах

Огнестойкость технологических систем

Современные огнезащитные материалы и их соответствие "Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности"



Пенообразующие свойства водных растворов алкилсульфатов натрия

Огнезащитные составы и покрытия на основе аминоальдегидных олигомеров

Проблема прогнозирования поведения лесных пожаров

ПАМЯТИ

Евгения Николаевича ЧЕРНЫШЕВА



Во время тушения крупного пожара в здании бизнес-центра на севере Москвы погиб начальник службы пожаротушения ГУ МЧС России по г. Москве полковник **Евгений Николаевич ЧЕРНЫШЕВ**.

Евгений Николаевич родился 31 августа 1963 г. в г. Москве. Окончил Ленинградское пожарно-техническое училище МВД СССР. В 2002 г. он возглавил службу пожаротушения Главного управления МЧС России по городу Москве.

По долгу службы полковник Чернышев принимал участие в тушении самых крупных пожаров столицы. На его счету в должности руководителя службы пожаротушения ликвидация более 250 крупных ЧС (в том числе на телебашне “Останкино”, в Манеже), десятки спасенных жизней. Несмотря на то что он старший офицер, Евгений Николаевич лично участвовал в тушении многих крупных пожаров.

20 марта Евгений Чернышев прибыл руководить тушением здания на 2-й Хуторской улице.

Огнем были охвачены четыре этажа пятиэтажного здания, сообщалось о частичном обрушении стен и крыши. При ремонте в бизнес-центре использовались легковоспламеняющиеся материалы, что привело к быстрому распространению огня по этажам.

Выведя из горящего здания бизнес-центра пять человек, он вновь пошел на разведку, чтобы убедиться, что в огне никого не осталось. Но вернуться не успел. После передачи сообщения по радио, что у него заканчивается воздух в баллоне дыхательного аппарата, связь с ним оборвалась.

Произошло обрушение конструкций, отрезав ему путь к возвращению. Позже тело Евгения Чернышева обнаружили под завалами.

Евгению Чернышеву было 47 лет. У него остались жена и сын.

Президентом Российской Федерации Дмитрием Медведевым 24 марта 2010 г. был подписан указ о присвоении звания Героя России начальнику службы пожаротушения г. Москвы Евгению Чернышеву посмертно.

СВЕТЛАЯ ПАМЯТЬ!

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации

А.Н. ЧЛЕНОВ, Т.А. БУЦЫНСКАЯ, И.Г. ДРОВНИКОВА. — Ч. 1. — 316 с.
В.П. БАБУРОВ, В.В. БАБУРИН, В.И. ФОМИН. — Ч. 2. — 300 с.

В учебно-справочном пособии рассмотрены общие вопросы построения систем охранной сигнализации, приведены сведения об основных видах технических средств, составляющих систему: извещателях, приемно-контрольных приборах, системах передачи извещений, оповещателях и блоках питания. Рассмотрены современное состояние рынка средств охранной сигнализации и тенденции его развития.

Большое внимание уделено вопросам проектирования систем охранной сигнализации, требованиям по их монтажу и технической эксплуатации. Рассмотрены особенности применения средств сигнализации в пожаро- и взрывоопасных зонах.

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

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

ЭЛ. ПОЧТА:
mail@firepress.ru;
izdat_pozhnauka@mail.ru

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



ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 19 • № 4 • 2010 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

Журнал издается с 1992 г. Выходит 12 раз в год

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Колодкин В. М., Варламов Д. В., Малых Д. М.** Количественная оценка пожарного риска образовательных учреждений
Красавин А. В. Нормы пожарной безопасности. Системная проблема

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

- Kolodkin V. M., Varlamov D. V., Malych D. M.** Quantitative Estimation of Fire Risk at Educational Institutions
Krasavin A. V. Fire Safety Regulations. Problem of System

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕЙ И МАТЕРИАЛОВ

- Малинин В. И., Серебренников С. Ю., Бербек А. М.** Анализ особенностей горения порошков металлов в смесях с воздухом, водой и диоксидом углерода
Васин А. Я., Аносова Е. Б., Маринина Л. К. Определение энталпии испарения и параметров уравнения Антуана для фармацевтических препаратов с использованием ДТА

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

- Malinin V. I., Serebrennikov S. Yu., Berbek A. M.** Analysis of Lightweight Powdered Metals Combustion Characteristics in Mixture with Air, Water and Carbon Dioxide
Vasin A. Ya., Anosova Ye. B., Marinina L. K. Definition of Evaporation Enthalpy and Antoine's Equation Parameters for Pharmaceuticals Using Differential-Thermal Analysis (DTA)

ОГНЕЗАЩИТА

- Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Рукавишников А. В., Селезнев А. М.** Огнезащитные составы и покрытия на основе аминоальдегидных олигомеров (литературный обзор)
Лирова Б. И., Лютикова Е. А., Русинова Е. В., Сафонюк Н. Р. Полимерные композиции на основе поливинилхлорида, содержащие пластификаторы-антиприэны
НПО "НОРТ". Современные огнезащитные материалы и их соответствие "Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности"

FIRE RETARDANCE

- Balakin V. M., Polishuk Ye. Yu., Rukavishnikov A. V., Seleznev A. M.** Flame Retardants and Coverages Based on Aminealdegidic Oligomers (Literary Review)
Lirova B. I., Lyutikova E. A., Rusinova E. V., Safronyuk N. R. Polymeric Compositions Based on Polyvinyl Chloride Containing Plasticizers-Fire Retardants
SPU "NORT". Modern Fire-Retardant Materials and Their Conformity with "Technical Enactment About Fire Safety Requirements"

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Сучков В. П., Швырков С. А., Хабибулин Р. Ш., Рубцов Д. Н., Юрьев Я. И.** Огнестойкость технологических систем

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

- Suchkov V. P., Shvyrkov S. A., Habibulin R. Sh., Rubtsov D. N., Yuryev Ya. I.** Fire Resistance of Technological Systems

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

- Волокитина А. В., Софронов М. А., Корец М. А.** Проблема прогнозирования поведения лесных пожаров

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

- Volokitina A. V., Sofronov M. A., Korets M. A.** Problem of Wildland Fire Behaviour Prediction

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

- Захматов В. Д.** Импульсная техника в Чернобыле

FIRE ENGINEERING

- Zahmatov V. D.** Pulse Equipment in Chernobyl

СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ

- Евтухов С. А., Урицкая А. А., Пазникова С. Н.** Пенообразующие свойства водных растворов алкилсульфатов натрия

MEANS OF EXTINGUISHING

- Evtukhov S. A., Uritskaya A. A., Paznikova S. N.** Foaming Properties of Water Solutions of Sodium Alkyl-sulphates

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

- Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Пулатов Д. О., Семенов В. П.** Методика расчета основных параметров тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах

FIRE EXTINGUISHING

- Brushlinskiy N. N., Usmanov M. H., Pulatov D. O., Semenov V. P.** Calculation Methods of Main Parameters of Combustible Liquids Fire Extinguishing in Tanks

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

- 62** 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 предоставленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати.

**В. М. Колодкин**

д-р техн. наук, профессор, директор Института гражданской защиты Удмуртского государственного университета, г. Ижевск, Россия

**Д. В. Варламов**

аспирант Удмуртского государственного университета, г. Ижевск, Россия

**Д. М. Малых**

ассистент Удмуртского государственного университета, г. Ижевск, Россия

УДК 614.84

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРНОГО РИСКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Для расчета количественных оценок уровня пожарной опасности, в том числе величины пожарного риска, в зданиях и сооружениях образовательных учреждений предлагается использовать возможности проблемно-ориентированного сервиса "Риск-аналитик ОУ". Сервис поддерживает математическое моделирование развития пожара в здании и процесса эвакуации людей из здания в условиях пожара. По результатам моделирования рассчитываются оценки уровня опасности, которые представляются в Сертификате пожарной безопасности. Сервис доступен по сети Интернет.

Ключевые слова: образовательное учреждение, пожарный риск, частота, математические модели пожара и эвакуации людей.

Любой техногенный объект, в том числе и образовательное учреждение (ОУ), порождает определенный уровень опасности для жизнедеятельности людей. Уровню опасности может быть поставлена в соответствие количественная оценка риска. Основной вклад в уровень опасности ОУ вносят последствия пожара. Соответственно, уровень опасности образовательного учреждения может характеризоваться одним из возможных количественных показателей риска — величиной пожарного риска [1]. В связи с этим задача снижения ущерба в ОУ при авариях и катастрофах, формулируемая как задача управления уровнем опасности, непременно включает этап количественной оценки пожарного риска.

Наиболее значимые характеристики уровня пожарной опасности для каждого здания образовательного учреждения могут быть сведены в Сертификате пожарной безопасности. К таким характеристикам могут быть отнесены:

- характеристики наиболее опасного сценария развития пожара в здании ОУ:
 - прогнозируемая частота;
 - возможное количество погибших;
 - возможный экономический ущерб;

- вероятность эвакуации людей из здания:
 - при наиболее опасном сценарии развития пожара;
 - усредненная по всем возможным сценариям развития пожара;
- индивидуальный пожарный риск для людей в здании:
 - при наиболее опасном сценарии развития пожара;
 - усредненный по всем возможным сценариям развития пожара.

В настоящее время общество достигло понимания, что за безопасность нужно платить. Теоретически можно обеспечить любой уровень безопасности. При этом важно, чтобы стоимость требуемого обществом уровня безопасности не превысила возможностей общества, поэтому количественные задачи риска-анализа обычно решаются с учетом финансовых ограничений. Анализ динамики оценок риска, изменения оценок при проведении мероприятий, направленных на снижение уровня опасности (т. е. поиск экономически обоснованного комплекса мероприятий по снижению риска), особенно значимы в условиях ограничения финансовых возможностей.

Вместе с тем уровень опасности — это весьма многогранное понятие. Различия могут иметь место не только в силу нюансов смысла, заложенных в оценки риска, но и в силу сложности, многофакторности и наличия элементов случайности, присущих аварийным процессам. Последние факторы предопределяют сложность математического описания процессов возникновения и развития аварий. Обычно создается ряд моделей, которые отвечают той или иной комбинации основных физических процессов при аварии. Например, при пожаре рассматриваются процессы теплообмена, тепло- и массообмена, с учетом излучения или без учета его; с учетом поглощения стенами тепла, выделяемого при горении, или без учета его и т. д. Возникает множество физико-математических моделей, отвечающих одному и тому же аварийному процессу, но с разной степенью детализации, что приводит к количественным различиям в оценках. Количественные различия в оценках увеличиваются при использовании алгоритмов, отличающихся по степени аппроксимации. Все это приводит к различиям количественных оценок пожарного риска.

Для количественного риск-анализа наибольшее значение имеет сопоставительный анализ оценок в силу имманентных свойств оценок риска. Сравнение оценок позволяет ранжировать объекты по уровню их опасности. Ранжирование ОУ по уровню опасности, в частности, позволяет сформулировать принцип распределения финансовых ресурсов, направленных на обеспечение безопасности. Однако процедура ранжирования ОУ по уровню пожарной опасности будет корректной, если количественная оценка риска для анализируемого множества ОУ выполнена с использованием одних и тех же методологических подходов. Методологические подходы изменяются (уточняются) с характерным временными интервалом один год. Если под множеством ОУ имеются в виду учреждения, расположенные в пределах определенного территориального образования (например, субъект Российской Федерации, Российская Федерация), то количество образовательных учреждений в пределах территориального образования составляет порядка тысячи. Указанные соображения позволяют сформулировать основное требование к оценке уровня опасности образовательных учреждений как основы снижения ущерба при возможных авариях и катастрофах: количественные характеристики уровня опасности для образовательных учреждений, входящих в анализируемое множество ОУ, должны проводиться с использованием одних и тех же допущений, методик и соизмеримой неопределенности в характеристиках. Таким образом, для тысяч образовательных учреждений в течение одного года должны

быть выполнены и количественные оценки пожарного риска, и оценки экономического ущерба. Только в этом случае сопоставительный анализ оценок пожарного риска и экономического ущерба при пожаре в ОУ имеет смысл. Только в этом случае возможно корректное ранжирование зданий и сооружений образовательных учреждений по уровню опасности. Только в этом случае возникают условия для корректного управления рисками с помощью экономических, административных и других рычагов.

Один из возможных подходов к оценке уровня опасности размещенных в пределах территориального образования ОУ, который отвечает установленным ограничениям, состоит в том, чтобы использовать возможности проблемно-ориентированного электронного ресурса “Безопасность в техносфере”. Проблемно-ориентированный ресурс предназначен для решения задач в области прогнозирования последствий аварий и анализа риска и доступен по сети Интернет (<http://rintd.ru/>). Ориентация ресурса на решение задач прогнозирования последствий аварий и анализа риска в образовательных учреждениях отражена в проблемно-ориентированном сервисе “Риск-аналитик ОУ” (далее — Сервис).

Сервис представляет собой инструментарий, ориентированный на расчет характеристик уровня пожарной опасности в зданиях и сооружениях образовательных учреждений. Программное обеспечение поддерживает решение следующих задач:

- 1) прогнозирование частоты возникновения пожара в здании образовательного учреждения;
- 2) ввод планов зданий и характеристик, относящихся к зданию и к каждому из помещений в здании;
- 3) моделирование развития пожара в здании;
- 4) моделирование эвакуации людей из здания в условиях пожара;
- 5) расчет оценок уровня пожарной безопасности и формирование сертификата.

В результате обработки введенной пользователем информации Сервис формирует набор количественных характеристик уровня опасности, в том числе величину пожарного риска. Рассчитанные параметры имеют смысл в первую очередь в плане ранжирования зданий по уровню пожарной опасности.

Прогнозирование последствий пожара в рамках Сервиса основано на результатах математического моделирования двух основных процессов: развития пожара в здании и эвакуации людей из здания в условиях пожара. При моделировании пожара в каждом помещении контролируются значения опасных факторов пожара: температуры, теплового потока, потери видимости, понижения содержания

кислорода, увеличения содержания CO₂, CO, HCl в помещении. Для моделирования процесса пожара в здании в рамках Сервиса предназначены программные модули, реализующие интегральную [2] и зонную [3] модели.

При моделировании процесса эвакуации людей из здания в условиях пожара используется гибридная модель, объединяющая потоковую модель и модель поведения агента [4, 5]. На каждом временном интервале контролируются координаты агентов, находящихся в здании, и возможные траектории перемещения агентов. Модель поведения агента настроена так, что он стремится покинуть помещение за минимальное время с учетом вероятности прохождения им каждого из помещений на пути эвакуации. Вероятность прохождения агентом каждого помещения определяется уровнем отклонения значений опасных факторов пожара от своих критических величин. При превышении опасными факторами пожара в помещении критических значений вероятность прохождения агентом помещения обращается в нуль. При этом строится новая траектория эвакуации агента, т. е. траектории перемещения агентов изменяются с учетом результатов моделирования пожара. Итогом работы программного модуля, реализующего модель эвакуации, являются количественные характеристики процесса эвакуации, например число людей, эвакуированных из здания при пожаре, N_s .

Расчет уровня опасности образовательного учреждения нормируется “Методикой определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной опасности” [1], в соответствии с которой задача сводится к расчету индивидуального пожарного риска Q_b для каждого из зданий образовательного учреждения:

$$Q_b = Q_n(1 - R_{an})P_{np}(1 - P_s)(1 - P_{nz}), \quad (1)$$

где Q_n — частота возникновения пожара в здании в течение года;

R_{an} — вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения;

P_{np} — вероятность присутствия людей в здании;

P_s — вероятность эвакуации людей;

P_{nz} — вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты.

Положения методики [1] используются в проблемно-ориентированном сервисе “Риск-аналитик ОУ” наряду с другими моделями и методиками. Индивидуальный пожарный риск Q_b , как нормативная величина, также рассчитывается в рамках Сервиса.

Вместе с тем при использовании возможностей Сервиса возможно уточнение оценок для определения индивидуального пожарного риска Q_b . Уточнения

касаются двух величин, входящих в формулу (1): частоты возникновения пожара в здании в течение года Q_n ; вероятности эвакуации людей P_s . В частности, в рамках Сервиса для Q_n строится регрессионная модель, связывающая частоту возникновения пожара в здании с основными характеристиками здания и окружающей среды. Математическое ожидание частоты, отвечающее регрессионной модели, количественно совпадает со значением частоты возникновения пожара в здании в течение года в соответствии с [1]. Например, для корпуса университета математическое ожидание частоты возникновения пожара составляет $2,43 \cdot 10^{-5}$ в расчете на одного студента.

Оценка вероятности эвакуации P_s основана на результатах математического моделирования эвакуации людей из здания:

$$P_s \approx N_s/N, \quad (2)$$

где N_s и N — численность людей, эвакуированных из здания при пожаре, и общее количество людей в здании соответственно.

По результатам расчетов формируется Сертификат пожарной безопасности образовательного учреждения.

Ресурс “Безопасность в техносфере” поддержан доступной обучающей системой, которая в режиме дистанционного доступа обеспечивает подготовку пользователей, в том числе сервиса “Риск-Аналитик ОУ”. Сервис и обучающая система обеспечивают возможность корректной оценки уровня опасности каждого ОУ, возможность сравнительного анализа образовательных учреждений по уровню их опасности для членов общества. Рейтинг зданий по уровню пожарной опасности позволит задействовать экономические, административные и другие рычаги управления уровнем пожарной опасности. Инструментарий доступен пользователям сети Интернет. Технические возможности Сервиса допускают разработку до нескольких сотен сертификатов в сутки.

Работа выполнена в рамках гранта АВЦП “Развитие научного потенциала высшей школы” “Паспорт безопасности образовательного учреждения как основа управления рисками в образовательных учреждениях России”.

Выводы

Проблемно-ориентированный сервис “Риск-Аналитик ОУ”, доступный по сети Интернет, позволяет оценить уровень опасности каждого образовательного учреждения, обеспечивает возможность сравнительного анализа образовательных учреждений по уровню опасности. Сервис включает следующие модули: прогнозирование частоты возникновения

пожара в здании образовательного учреждения; ввод планов зданий и характеристик, относящихся к зданию и к каждому из помещений в здании; моделирование распространения пожара в здании; моделирование эвакуации людей из здания в условиях пожара; расчет количественных оценок уровня пожарной опасности и формирование сертификата.

Для прогнозирования последствий пожара в здании реализованы интегральная и зонная модели распространения пожара, для оценки частоты возникновения пожара построена регрессионная модель, оценка вероятности эвакуации основана на результатах математического моделирования эвакуации людей из здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрир. в Министерстве РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 15.02.2010).
2. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000.
3. Fire Growth and Smoke Transport Modeling with CFAST [электронный ресурс]. URL : <http://cfast.nist.gov/> (дата обращения: 10.02.2010).
4. Князев Г. П. Прогнозирование динамики эвакуации людей из здания при ЧС // Безопасность в техносфере : сб. статей. — Вып. 5. — Ижевск, 2009. — С. 63–65.
5. Егоров А. А. Математические модели и алгоритмы эвакуации людей в аварийных ситуациях в учебных заведениях : дис. ... канд. техн. наук. — ГОУ ВПО “Саратовский государственный технический университет”, 2008.

Материал поступил в редакцию 19 января 2010 г.

*Электронные адреса авторов: kolodkin@wing.uni.udm.ru,
big_black_fox@mail.ru, dina@wing.uni.udm.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. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



А. В. Красавин

канд. техн. наук, магистрант Российской академии государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва, Россия

УДК 614.811.6

НОРМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. СИСТЕМНАЯ ПРОБЛЕМА

Анализируются основные проблемы, возникающие при применении "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности". Рассматривается целесообразность внесения изменений в существующую технологию разработки и согласования специальных технических условий. Предлагаются пути совершенствования нормативных правовых актов и нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности.

Ключевые слова: технический регламент, обоснование безопасной эвакуации людей, специальные технические условия.

С момента введения в действие "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" [1] (далее — Технический регламент) прошел уже почти год. За это время по результатам правоприменительной практики закона было выявлено немало проблем, возникающих при реализации тех или иных его положений. Не вдаваясь в подробности, обозначим основные, на наш взгляд, проблемы, имеющие место сегодня в нормативно-правовом регулировании в области пожарной безопасности.

Во-первых, нелишним будет напомнить о многочисленных лозунгах, произносимых с высоких трибун, относительно существенного снижения количества требований пожарной безопасности, которое должно было произойти с введением в действие Технического регламента. К сожалению, надо признать, что в лучшую сторону ситуация не изменилась. Напротив, количество требований только увеличилось. Продолжают действовать в части, не противоречащей Техническому регламенту, строительные нормы и правила (СНиПы), государственные стандарты (ГОСТы), нормы пожарной безопасности (НПБ) и т. д. При проектировании, строительстве и эксплуатации объектов теперь необходимо руководствоваться, помимо Технического регламента, и сводами правил, и национальными стандартами. Но и это еще не все. Так, согласно Федеральному закону № 184-ФЗ "О техническом регулировании" (ст. 51) особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений устанавливаются "Техниче-

ским регламентом о безопасности зданий и сооружений".

Такая ситуация, когда приходится иметь дело с многочисленными нормами пожарной безопасности, разрабатываемыми разными ведомствами и принимаемыми на разных уровнях государственной власти, не способствует формированию единой позиции у проектных, строительных и экспертных сообществ в вопросах толкования и применения тех или иных положений нормативных документов. При этом необходимо отметить, что отсутствие четкости и ясности затрудняет работу не только проектировщиков и заказчиков, но и представителей экспертных и надзорных органов.

Ранее автор уже приводил примеры [2], в которых в полной мере проявилось отсутствие на сегодняшний день ясности и у правоприменителей пожарных норм. К примеру, представители органов исполнительной власти, формулируя замечание по удаленности подразделений пожарной охраны от проверяемого объекта, ссылаются на требования разных норм. Одни — на ст. 76 "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" (10 мин — для города, 20 мин — для сельской местности); другие — на требования СНиП 2.07.01-89* "Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений" (радиус обслуживания — 3 км); третьи — на СНиП II-89-80* "Генеральные планы промышленных предприятий" (радиус обслуживания — 2 и 4 км в зависимости от категории производства по взрывопожарной и пожарной

опасности); четвертые — на ст. 97 Технического регламента и свод правил СП 11.13130.2009 “Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения” (*максимально допустимая удаленность пожарного депо зависит от “цели выезда дежурного караула на пожар и выбранной схемы его развития”*). Таким образом, на замечание по удаленности пожарного депо необходимо отвечать четыре раза и, что самое удивительное, — каждый раз по-разному. Этот пример, один из многих, служит наглядной иллюстрацией того, каково современное состояние нормативной базы в области пожарной безопасности и каково ее понимание специалистами.

Во-вторых, по мнению многих, проблемой является и неоправданное наличие в Техническом регламенте многочисленных точных технических требований, которые в значительной степени усложняют процесс проектирования и строительства зданий и сооружений. Представляется целесообразным исключить из закона такие требования. Прежде уже говорилось [3], что Технический регламент — это, образно говоря, конституция по вопросам пожарной безопасности. Удел конституции — основные принципы. Поэтому конкретику, содержащуюся сегодня в законе, было бы правильнее перенести в своды правил и другие нормативные документы по пожарной безопасности.

Порой возникают ситуации, когда выполнение отдельных положений Технического регламента сопряжено с огромными, иногда непреодолимыми трудностями. Причем эти *трудности зачастую несопоставимы с тем, весьма условным значением, которое оказывают данные трудновыполнимые мероприятия на пожарную безопасность объекта*.

В качестве примера можно привести проектируемый в настоящее время спортивный стадион с площадью покрытия кровли около 70 тыс. м². В соответствии с требованиями ст. 90 Технического регламента в таком сооружении необходимо предусмотреть не менее 70 выходов на кровлю. Нетрудно себе представить, насколько эстетично будет выглядеть данный объект. В итоге его оригинальность и шарм, вполне возможно, положат начало новому архитектурному стилю, творцов которого будут символически называть “пожхитекторы”.

Или другой, не менее яркий пример, когда экспертивные и надзорные органы требуют в производственных зданиях (в которых находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии — категория Д) предусматривать устройство системы противодымной защиты, мотивируя это тем, что внутри зданий могут проходить пути следования личного состава подразделений пожарной охраны. О том, куда действительно может ступить нога по-

жарного, уже говорилось на страницах журнала ранее [4].

В-третьих, что необходимо изменить в нормах пожарной безопасности, так это упростить методы оценки соответствия принимаемых проектных решений, правильность которых во многих случаях должна обосновываться расчетами времени эвакуации и критической продолжительности пожара [3]. Безусловно, речь не идет о тотальном упрощении методик, но, вероятно, было бы правильнее ввести дифференцированный подход по принципу: “простым” объектам — простые методики, “сложным” — сложные. К “сложным” объектам, по всей видимости, следует отнести объекты с массовым пребыванием людей, а также объекты, классифицирующиеся по Градостроительному кодексу как особо опасные, технически сложные и уникальные. Остальные объекты, которых большинство, являются условно “простыми”, и для них не следует требовать применения сверхсложных методик, обосновывающих правильность принимаемых решений.

Жизнь подтверждает, что разработанные методики действительно являются очень сложными. Выполнение необходимых обоснований с их помощью может быть не под силу даже ведущим государственным организациям в области обеспечения пожарной безопасности, входящим в систему МЧС России.

Так, к примеру, совсем недавно по одному уникальному объекту в организацию, осуществляющую надзорные функции, было представлено обоснование безопасной эвакуации людей. Обоснование было выполнено как раз одной из ведущих в стране организаций в области обеспечения пожарной безопасности, относящихся к МЧС России. К представленному в обосновании результату эксперты отнеслись настороженно, испытывая, согласитесь, вполне оправданные сомнения в том, что несколько тысяч человек действительно способны эвакуироваться из здания за 70 с. Не нужно быть большим профессионалом в пожарном деле и обладать богатым жизненным опытом, чтобы понимать, насколько это далеко от истины. Между тем исполнители расчета отказались давать какие-либо комментарии относительно природы происхождения полученного результата. Заказчик, сознавая правоту сомневающихся экспертов, вынужден был обратиться в другую, не менее авторитетную государственную организацию МЧС России. В результате после продолжительных усилий данной организации удалось выполнить требуемое обоснование безопасной эвакуации людей в соответствии с нормативными документами. Однако *полученное значение времени эвакуации людей на порядок (!!!) отличалось от результата первой организации*. Объект

один и тот же. Однако результаты расчетов фактического и необходимого времени эвакуации людей, выполненных двумя “титанами” пожарной науки, получились совершенно отличные один от другого. Если уж у наиболее значимых государственных организаций, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности, существуют объективные сложности с выполнением обоснований безопасной эвакуации людей и расчетами пожарного риска, то что же спрашивать с других проектных институтов, не специализирующихся на вопросах пожарной безопасности.

В-четвертых, существует проблема, связанная с необходимостью разработки и согласования специальных технических условий (далее — СТУ). Проблема, как известно, далеко не новая и всегда вызывающая живой интерес при ее обсуждении. Ранее в соответствии с требованиями СНиП 21-01-97* “Пожарная безопасность зданий и сооружений” специальные технические условия должны были разрабатываться для объектов, на которые отсутствовали противопожарные нормы, а также в случаях отступлений от требований пожарной безопасности, установленных нормативными документами. При этом, если в прежние, “доперестроечные”, времена технические условия, отражающие специфику противопожарной защиты, разрабатывались в единичных случаях, действительно на уникальные и экспериментальные объекты народного хозяйства, то в настоящее время технология разработки и согласования СТУ поставлена “на поток”. Десятки раз согласовываются одни и те же отступления со стандартным набором компенсирующих мероприятий на аналогичные группы объектов.

С введением в действие Технического регламента техногия отступлений от требований пожарной безопасности была упразднена. С 1 мая 2009 г. СТУ должны разрабатываться только на объекты, для которых отсутствуют нормативные требования пожарной безопасности. Однако такая постановка вопроса привела к тому, что *органы, осуществляющие надзор за соблюдением требований пожарной безопасности на тех или иных стадиях жизни объекта (проектирование, строительство, эксплуатация), трактуют любое отступление от действующих норм как отсутствие норм проектирования*. В качестве примеров можно привести множество абсурдных ситуаций. Так, отсутствием норм проектирования и, как следствие, основанием для разработки СТУ сегодня являются и отсутствие значений в таблицах, устанавливающих расходы воды на внутреннее или наружное пожаротушение для различных объектов, и использование установок пожаротушения тонкораспыленной водой, и многое-многое другое.

С 1 июля 2010 г. в действие вступит “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”. За месяц до вступления его в силу, т. е. до конца весны, Правительство РФ должно утвердить перечень обязательных для исполнения национальных стандартов и сводов правил. Примечательно, что “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” вновь вводит феномен СТУ при отступлениях от требований сводов правил и национальных стандартов, попавших в этот самый обязательный для исполнения перечень. Получается, что их обязательность будет весьма и весьма условной. Существующее же многообразие нормативной документации (технические регламенты, своды правил, национальные стандарты, СНиПы, ГОСТы, НПБ, ведомственные нормы и т. д.), противоречивость, неопределенность и трудновыполнимость норм пожарной безопасности зачастую приводят к необходимости отступления от того или иного требования пожарной безопасности и, как следствие, к разработке и согласованию СТУ. Наверное, излишне говорить о тех временных и финансовых затратах, которые несут заказчики СТУ.

Сегодня в условиях рыночной экономики, когда повсеместно наблюдается погоня за прибылью, нормы пожарной безопасности также пытаются сделать средством обогащения. Обложив собственников многочисленными противопожарными нормами (как волков обкладывают охотники флагами), МЧС тем не менее весьма охотно разрешает отступать от их требований через технологию СТУ. Что за этим стоит, остается только догадываться.

За то время, что активно существует институт согласования специальных технических условий (более 10 лет), было разработано и согласовано огромное количество СТУ на самые различные объекты и самые разные отступления от требований пожарной безопасности. Так для чего же мы снова и снова разрабатываем и согласовываем специальные технические условия со стандартным набором компенсирующих мероприятий, если все это многократно было согласовано ранее. Возникает вечный вопрос: “Что делать? ”.

*Представляется целесообразным разработать и включить в обязательный для исполнения перечень сводов правил и национальных стандартов, который вскоре будет утвержден Правительством РФ (ст. 6 “Технического регламента о безопасности зданий и сооружений”), еще один нормативный документ. Назвать его можно будет, к примеру, *свод правил “Специальные технические условия. Типовые отступления и компенсирующие мероприятия”*. В данный свод правил потребуется включить согласованные ранее отступления с набором компенсирующих эти отступления мероприятий для раз-*

личных групп объектов. Каких-либо объективных сложностей, связанных с подготовкой такого свода правил, возникнуть не должно, так как все материалы, необходимые для разработки данного норматива, имеются в МЧС. Такое решение позволит существенным образом снизить административные барьеры при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, поскольку данный свод правил (обязательный для исполнения) практически сведет на нет необходимость разработки и согласования СТУ. В свою очередь, это приведет к сокращению финансовых и временных затрат на проектирование и строительство объектов, что будет являться важным звеном в формировании благоприятного инвестиционного климата и в развитии народного хозяйства России.

В заключение следует отметить, что перечисленные выше проблемы, связанные с противопожарным нормированием, вовсе не являются исчерпывающими. Этот список может быть продолжен. И такое положение дел не прибавляет оптимизма. Назрела явная необходимость в коренных преобразованиях системы нормативно-правового регулирования в области пожарной безопасности. Однако возникает вопрос, каким образом выполнить эти преобразования, чтобы одна из важнейших систем безопасности, какой является пожарная безопасность (самый высокий риск гибели в зданиях и сооружениях — риск гибели при пожарах!), очистилась от излишних требований, не потеряв или даже усилив при этом свое главное качество — безопасность.

Если обратиться к зарубежной практике, то примечательной является ситуация, когда законодатели одной из развитых стран принимают законы, которые будут действовать уже после окончания их пар-

ламентской деятельности, т. е. плодами своего законотворчества разработчики законов воспользоваться не могут. И это, наверное, правильно. Может быть, и разработкой нормативных правовых актов и нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности должны заниматься не те, кто будет иметь возможность впоследствии активно их применять, а, допустим, уполномоченные на это межведомственные организации (будь то комиссии, комитеты и т. д. — не суть важно). Такое положение дел, когда нормы будут разрабатываться не под себя, однозначно приведет к снижению коррупционной составляющей, имеющей место в пожарных нормах сегодня [4].

Как законодательная власть функционирует (в идеале) независимо от исполнительной, так и министерство, исполняющее ту или иную функцию, не должно являться единоличным законодателем правил, по которым эта функция должна всеми исполняться. Итак, до тех пор, пока МЧС будет иметь полномочия по подготовке норм пожарной безопасности, заказчикам, проектировщикам, строителям не стоит надеяться на улучшение ситуации с противопожарным нормированием.

Проблемы, поднятые в статье, сложны и неоднозначны. Но то, что проблемы есть и их следует решать, — факт. При этом общеизвестно, что любое взвешенное решение предполагает дискуссию. Без обсуждения не найти правильного пути, ибо в спорах рождается истина. “Дорогу осилит идущий”, — гласит вечная мудрость. Осилим и мы дорогу к прозрачным и понятным нормам пожарной безопасности, начало которой, автор искренне надеется, может положить дискуссия по обозначенной в статье проблеме.

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. Красавин А. В. Нормативное время прибытия пожарных к месту вызова. Реальность или миф? // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 3. — С. 3–8.
3. Красавин А. В. Предложения по внесению изменений в “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” по результатам правоприменительной практики // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 2–6.
4. Красавин А. В. Антикоррупционная экспертиза Федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 9. — С. 10–21.

*Материал поступил в редакцию 12 марта 2010 г.
Электронный адрес автора: a-krasavin@mail.ru.*



В. И. Малинин
д-р техн. наук, профессор Пермского
государственного технического уни-
верситета, г. Пермь, Россия



С. Ю. Серебренников
д-р техн. наук, профессор Пермского
государственного технического уни-
верситета, г. Пермь, Россия



А. М. Бербек
аспирант Пермского
технического университета,
г. Пермь, Россия

УДК 536.46

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРЕНИЯ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ В СМЕСЯХ С ВОЗДУХОМ, ВОДОЙ И ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Проведенный анализ горения легких порошкообразных металлов (алюминия, магния, бора) в воздухе, водяном паре и диоксида углерода выявил их особенности как горючих. Эти особенности (большая химическая активность, высокое значение тепловыделения в реакциях горения) делают данные металлы не менее пожаровзрывоопасными, чем пары углеводородных горючих. Анализ показал, что применение традиционных огнетушащих средств (воды и диоксида углерода) при пожаре объектов, содержащих порошки Al, Mg и B, вызовет существенное повышение температуры очага, выделение взрывоопасных, токсичных газов (водород и угарный газ) и приведет к тяжелым последствиям. Выявленные особенности необходимо учитывать при организации противопожарных мероприятий.

Ключевые слова: порошкообразные металлы, алюминий, магний, бор, воздух, азот, вода, диоксид углерода, химическая активность, тепловыделение, водород, угарный газ, взрывоопасные и токсичные газы.

Введение

В сравнении с углеводородными горючими порошки легких металлов алюминия, магния и бора (к металлам условно отнесен и бор, который является металлоидом) обладают рядом особенностей, затрудняющих их воспламенение и горение. Во-первых, частицы металлов, распыленные в воздухе, обладают высокой температурой воспламенения ($T_{ign} > 1000$ К) и очень большим временем горения ($\tau_c \geq 2$ мс). Во-вторых, капли металлов обладают большой вязкостью, плохо дробятся и медленно испаряются даже при повышенных температурах (более 1000 К). Однако ряд других особенностей металлических порошков делает их не менее пожаровзрывоопасными, чем пары углеводородных горючих.

Повышенная горючесть металлических порошков обусловлена их большой химической активностью и высоким значением тепловыделения в химических реакциях (на единицу массы продуктов сгорания). Металлы могут активно реагировать с большим выделением тепла, помимо кислорода, с азотом, углекислым газом и водяным паром. Поэтому

необходим анализ процессов их воспламенения и горения с точки зрения обеспечения пожаровзрывобезопасности промышленных объектов, на которых они обращаются, производятся или используются в технологическом процессе в виде порошков.

Горение металлов в воздухе

Значительное тепловыделение (рис. 1, а) реализуется в горящих металловоздушных смесях при очень низких коэффициентах избытка воздуха α (менее 0,3). Термодинамический анализ горения металлов в воздухе (рис. 1, б) указывает на высокие температуры продуктов сгорания при низких значениях α , что согласуется с результатами термохимического анализа. Значения температуры продуктов сгорания горючих смесей в зависимости от коэффициента α определялись термодинамическими расчетами по программе "АСТРА.4" [1] (разработанной в МГТУ им. Н. Э. Баумана для моделирования химических и фазовых равновесий в высокотемпературных системах). Характерный эффект при низких коэффициентах избытка воздуха (рассчитанных

© Малинин В. И., Серебренников С. Ю., Бербек А. М., 2010

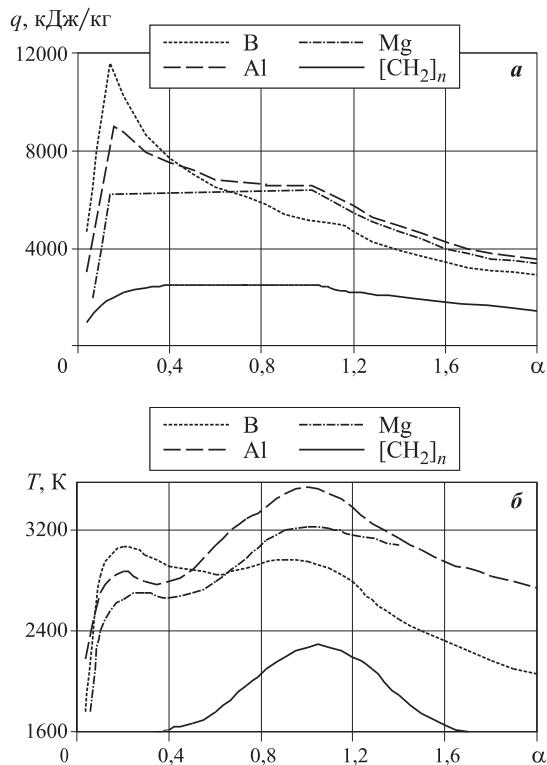


Рис. 1. Влияние коэффициента избытка воздуха на тепловыделение (а) и термодинамическую температуру горения (б) аэровзвесей горючих

по кислороду) обусловлен специфической для металлов экзотермической реакцией азотирования.

О фактах реализации реакции азотирования металлов при воспламенении насыпок алюминиевых и магниевых порошков в азоте (при температуре более 1000 К) сообщают авторы работы [2]. Химический анализ продуктов сгорания алюминиево-воздушной смеси с низким значением коэффициента избытка воздуха (рассчитанным по кислороду) — $\alpha < 0,4$ показал наличие в них нитрида алюминия [3, 4]. Причем его содержание резко возрастало с уменьшением значений α . Отсюда следует, что азот способен поддерживать горение металлических порошков, в определенных условиях вступая с ними в реакцию. В работе [3] показано, что реакция азотирования Al становится существенной при $\alpha < 0,2$. Огневые стендовые испытания экспериментальной камеры сгорания порошкообразных горючих (алюминий — АСД-1, АСД-4 и бор — Б-99) показали надежное воспламенение и устойчивое горение металловоздушных смесей [5] при очень низких коэффициентах избытка воздуха (для Al — 0,04, для B — 0,06). Это указывает на наличие экзотермической реакции азотирования, протекающей при отсутствии кислорода, который расходуется в реакции окисления на начальных стадиях процесса.

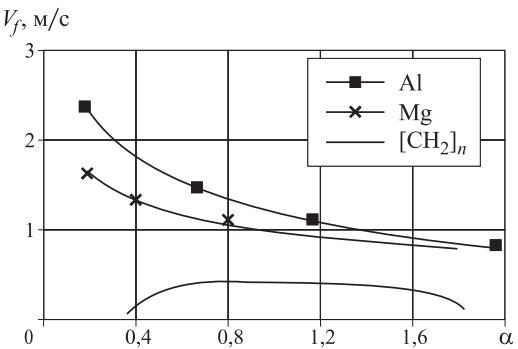


Рис. 2. Влияние α на нормальную скорость распространения фронта пламени по аэровзвесям порошков металлов и каплям углеводородного горючего

Экзотермическая реакция азотирования характерна только для металлических или металлсодержащих горючих. Для углеводородных горючих такая реакция отсутствует, что обуславливает при низких значениях α малое тепловыделение в процессе реакции этих горючих с воздухом и невозможность распространения пламени.

Во избежание значительных погрешностей расчета при анализе пожаровзрывоопасности металловоздушных смесей реакцию азотирования необходимо учитывать. Сопровождаемая экзотермическим эффектом реакция азотирования вносит существенный вклад в суммарное тепловыделение и поддерживает процесс воспламенения и горения обедненной кислородом смеси.

Очень важной для анализа горения горючей смеси является зависимость скорости распространения пламени V_f от коэффициента избытка окислителя. На рис. 2 представлены полученные в работе [6] зависимости от коэффициента α скорости распространения пламени по аэровзвесям частиц магния (порошок МПФ) и алюминия (порошок АСД-4). Для сравнения на этом же рисунке отображена такая же зависимость для аэровзвеси капель углеводородного горючего $[CH_2]_n$ [7].

В гомогенных смесях горючих газов с воздухом величина V_f имеет максимальные значения при коэффициентах избытка воздуха α , близких к единице [8]. В аэровзвесях капель углеводородов и частиц угля закономерность сохраняется ($V_f = V_f^{\max}$ при $\alpha = 0,7 \dots 0,9$ [9–11]). Эти экспериментальные данные соответствуют теоретическим представлениям, согласно которым при $\alpha = 1$ в указанных смесях принимают максимальные значения тепловыделение, температура и нормальная скорость распространения пламени [12].

Однако в металловоздушных смесях физико-химическая ситуация иная, и $V_f \rightarrow V_f^{\max}$ при $\alpha \ll 1$. В экспериментах [4–6, 13] скорость распространения пламени в аэровзвесях порошков алюминия,

Пределы распространения пламени по аэровзвесям горючих

Горючее	Стехиометрическое отношение L_0	Концентрация горючего, кг/м ³		Коэффициент избытка воздуха	
		НКПР	ВКПР	НКПР	ВКПР
Алюминий	3,84	0,045 [15]	8,0	0,04 [5]	7,0
Магний	2,84	0,040 [15]	> 2,1 [6]	< 0,2	10,8
Бор	9,56	< 0,64	2,1	0,06 [5]	> 0,2 [5]
Керосин	14,70	0,046 [10]	0,28 [10]	0,30	1,8

бора и магния возрастает по мере уменьшения коэффициента избытка воздуха α (вплоть до 0,1...0,15). Смещение максимума функции $V_f(\alpha)$ в сторону очень низких значений α может объясняться отмеченной выше экзотермической реакцией азотирования металлов и особенностями процессов тепломассообмена в богатых металловоздушных смесях [13]. В работе [13] также показано, что в сильно переобогащенных металловоздушных смесях при распространении пламени происходит автотурбулизация потока, которая приводит к искривлению фронта пламени (ФП) и увеличению его скорости.

По мнению автора [5], основной причиной смещения максимума скорости распространения ФП $V_f(\alpha)$ в металловоздушных смесях в область значений $\alpha \ll 1$ как раз и является автотурбулизация потока, которая возникает из-за переобогащения смеси. Чем больше переобогащение смеси, тем сильнее автотурбулизация потока. В ламинарных потоках скорость пламени при $\alpha \ll 1$ не возрастает, а падает. В работе [14] показано, что модель ламинарного пламени не объясняет сильного смещения максимума функции $V_f^{\max}(\alpha)$ в область низких значений коэффициента избытка воздуха.

Турбулизацию потока может вызвать неоднородное распределение частиц металла в объеме переобогащенной смеси. Чем больше пространственная неоднородность плотности массы металлического горючего в смеси, тем сильнее турбулизация потока, больше искривление ФП и его поверхности и, соответственно, выше скорость горения.

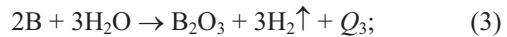
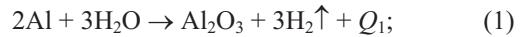
В таблице представлено сравнение нижних концентрационных (НКПР) и верхних концентрационных (ВКПР) пределов распространения пламени в металловоздушных смесях с углеводородовоздушной.

Анализ таблицы показывает, что в отличие от аэровзвесей керосина пределы распространения пламени для металловоздушных смесей чрезвычайно широки. Верхнее и нижнее значения α , например, для алюминия отличаются более чем в 150 раз (для керосиновоздушных — всего в 6 раз). Такое большое отличие создает принципиально новую ситуацию при горении порошков металлов в воздухе. Во-первых, большая пространственная неоднород-

ность концентрации металла не является препятствием для распространения пламени. Во-вторых, в разных точках пространства нормальная скорость ФП и особенно удельный объем сгоревшей смеси будут сильно отличаться, что приведет к искривлению фронта пламени и турбулизации потока. В конечном счете неравномерная концентрация металла не только не исключит распространения пламени, но и увеличит скорость его распространения.

Горение металловодяных смесей

В смесях Al + H₂O, Mg + H₂O и B + H₂O протекают следующие экзотермические химические реакции:



Тепловые эффекты реакций (1) – (3) Q_i , рассчитанные на единицу массы продуктов сгорания ($Q_1 = 7,5$ МДж/кг, $Q_2 = 7,6$ МДж/кг, $Q_3 = 5,4$ МДж/кг), ниже, чем при горении алюминия, магния и бора в кислороде, но значительно выше, чем при горении углеводородных горючих в воздухе (керосин — 2,8 МДж/кг, см. рис. 1, б).

Существенной особенностью горения металлов в воде является присутствие в соответствии с реакциями (1) – (3) в продуктах сгорания водорода, который, диффундируя от очага пожара в окружающую среду, в воздухе может образовывать очень взрывоопасные смеси.

Вода менее активный окислитель, чем кислород. Однако ее присутствие существенно уменьшает предельную температуру и время задержки воспламенения магния, алюминия и бора в кислородсодержащей среде [16, 17]. Водяной пар и особенно летучие продукты его реакции с металлами (водород) воздействуют на оксидные пленки и снижают их защитные свойства. Во влажной среде оксиды алюминия и магния становятся рыхлыми, пористыми [17, 18], а оксид бора интенсивно газифицируется

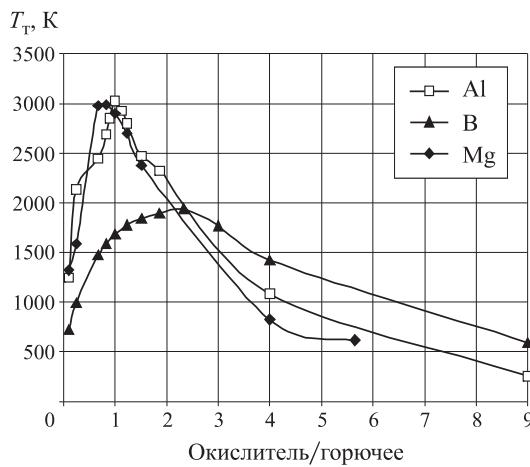


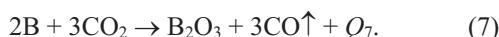
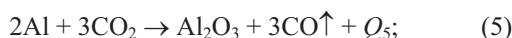
Рис. 3. Зависимость термодинамической температуры горения металловодяных смесей от массового отношения O/G

[16] в соответствии с реакцией (4). В чистом водяном паре некоторые частицы алюминия воспламеняются уже при температуре около 1000 К [16], магния — около 800 К [17], а конгломераты частиц аморфного бора (размер частиц — 20...60 нм, размер конгломератов — 150 мкм) — 700 К [16]. Скорость горения магния в воде в 4,2 раза, а алюминия — почти в 5 раз больше, чем в воздухе [17].

С применением программы “АСТРА.4” [1] проведены термодинамические расчеты горения алюминия, бора, магния в воде. В результате расчетов получены зависимости термодинамической температуры T_t продуктов сгорания от соотношения масс окислителя и горючего O/G (рис. 3). Максимальная температура горения для алюминия и магния близка к 3000 К, для бора — около 2000 К. В некотором диапазоне O/G температуры смесей $Al + H_2O$ и $Mg + H_2O$ близки друг к другу. При отношении $O/G > 3,5$ расчетная температура для магния падает настолько (менее 1000 К), что процессы горения не могут осуществляться. Алюминий и бор способны гореть и при более высоких значениях O/G (алюминий — до 4,5; бор — до 6,5).

Горение металлов в смеси с диоксидом углерода

В смесях $Al + CO_2$, $Mg + CO_2$ и $B + CO_2$ протекают следующие экзотермические химические реакции:



Тепловые эффекты реакций (5) – (7) Q_j , рассчитанные на единицу массы продуктов сгорания ($Q_5 =$

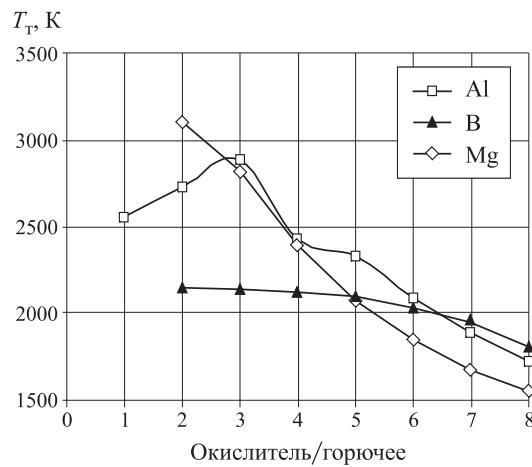


Рис. 4. Зависимость термодинамической температуры горения смесей металлов с диоксидом углерода от массового отношения O/G [22]

= 4,4 МДж/кг, $Q_6 = 4,6$ МДж/кг, $Q_7 = 2,6$ МДж/кг), ниже, чем при горении алюминия, магния и бора в кислороде, но значительно выше (кроме бора), чем при горении углеводородных горючих в воздухе (керосин — 2,8 МДж/кг).

При горении металлов в диоксидах углерода так же, как и при их горении в воде, в соответствии с реакциями (5) – (7) в продуктах сгорания присутствует летучее соединение — CO (угарный газ). Угарный газ менее пожаровзрывоопасен, чем водород. Однако в отличие от водорода он является токсичным продуктом и может вызывать сильные отравления у людей и животных.

В противоположность воде продукты реакции диоксида углерода с металлами, воздействуя на оксидные пленки, повышают их защитные свойства. Именно образованием углерода и углеродсодержащих соединений металлы объясняются высокие защитные и прочностные свойства пленки на поверхности металлов при их воспламенении в диоксиде углерода [17–20]. Поэтому металлы в диоксиде углерода воспламеняются при более высоких температурах, чем в воздухе и водяном паре: магний — более 920 К [17], алюминий — более 1470 К [21]. О воспламенении бора в чистом диоксиде углерода данных нет. Скорость горения частиц магния в диоксиде углерода в 1,5 раза меньше, чем в воздухе [17], а алюминия — по крайней мере на 15 % [19].

В работе [22] определена термодинамическая температура продуктов сгорания смесей $Mg + CO_2$, $Al + CO_2$, $B + CO_2$ в зависимости от отношения O/G (рис. 4). Максимальная температура горения для магния более 3000 К, для алюминия близка к 2800 К, для бора — около 2200 К. Эти температуры (кроме бора) намного выше, чем при горении углеводородных горючих в воздухе (менее 2400 К, см. рис. 1, б).

Выводы

1. Анализ горения порошков металлов (алюминия, магния, бора) в смесях с воздухом выявил следующие особенности протекающих процессов:
 - в очень богатых горючими компонентами смесях (коэффициент избытка воздуха $\alpha < 0,2$) после выгорания кислорода горение металлов продолжается за счет реакции с азотом воздуха;
 - пределы горения по коэффициенту избытка воздуха очень велики и значительно шире, чем у углеводородных смесей (для алюминия более чем в 25 раз, для магния — в 9 раз);
 - большая пространственная неоднородность концентрации металла не является препятствием для распространения пламени, приводит к турбулизации горящего потока и увеличивает скорость горения;
 - при низких значениях коэффициента α (менее 0,2) реакция азотирования и автотурбулизация потока

приводят к значительному увеличению скорости распространения пламени.

2. Отмеченные особенности воспламенения и горения аэровзвесей металлических частиц необходимо учитывать для обеспечения пожаровзрывобезопасности при работе с порошками металлов.

3. Анализ горения порошков Al, Mg и В в смесях с H_2O и CO_2 показал, что применение в качестве традиционных огнетушащих средств воды и диоксида углерода при пожаре объектов, содержащих алюминий, магний, бор и их сплавы, приведет:

- к дополнительному выделению тепла и существенному повышению температуры очага;
- к выделению взрывоопасных и токсичных газов (водорода и угарного газа);
- к большему материальному ущербу и более тяжелым последствиям для жизни и здоровья людей, чем без применения традиционных огнетушащих средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трусов Б. Г. Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах (АСТРА.4). — М. : Препринт МГТУ, 1991. — 30 с.
2. Попов Е. И., Великанова В. П. Воспламенение алюминиево-магниевых порошков в азоте // Физика аэродисперсных систем. — Киев – Одесса : Вища шк., 1982. — Вып. 24. — С. 48–50.
3. Алексеев А. Г., Судакова И. В., Циделко Т. И. Экспериментальные исследования динамики взаимодействия кислорода с металлами при взрывах аэровзвесей металлических порошков // Физика аэродисперсных систем. — Киев – Одесса : Вища шк., 1986. — Вып. 30. — С. 20–24.
4. Ягодников Д. А., Сухов А. В., Малинин В. И., Кирьянов И. М. Роль реакции азотирования в распространении пламени по переобогащенным металловоздушным смесям // Вестник МГТУ : сер. Машиностроение. — 1990. — № 1. — С. 121–124.
5. Малинин В. И. Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих. — Екатеринбург – Пермь : УрО РАН, 2006. — 261 с.
6. Алексеев А. Г., Судакова И. В. Скорость распространения пламени в аэровзвесях металлических порошков // Физика горения и взрыва. — 1983. — Т. 19, № 5. — С. 34–36.
7. Кумагай. Горение / Пер. с японск. — М. : Химия, 1979. — 256 с.
8. Бахман Н. Н., Беляев А. Ф. Горение гетерогенных конденсированных систем. — М. : Наука, 1967. — 226 с.
9. Талантов А. В. Горение в потоке. — М. : Машиностроение, 1978. — 160 с.
10. Раушенбах Б. В., Белый С. А., Беспалов И. В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. — М. : Машиностроение, 1964.
11. Smoot L. D., Horton H. D. Flame Propagation in the Coal Dust // Progress in Energy and Combustion Science. — 1977. — Vol. 3, No. 4. — P. 235–239.
12. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 502 с.
13. Ягодников Д. А., Воронецкий А. В., Лапицкий В. И. Распространение пламени по аэровзвеси алюминия при пониженных давлениях // Физика горения и взрыва. — 1995. — Т. 31, № 5. — С. 23–31.
14. Ягодников Д. А., Воронецкий А. В. Влияние скоростной неравновесности на особенности распространения ламинарного пламени в аэродисперсной среде // Физика горения и взрыва. — 1992. — Т. 28, № 5. — С. 38–44.
15. Барлас Р. А. Исследование горения аэровзвеси металлического порошка в области нижнего концентрационного предела взрываемости : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Севастополь, 1973. — 26 с.
16. Похил П. Ф., Беляев А. Ф., Фролов Ю. В. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах. — М. : Наука, 1972. — 294 с.

17. **Мальцев В. М., Мальцев М. И., Кашпоров Л. Я.** Основные характеристики горения. — М. : Химия, 1977. — 320 с.
18. Окисление металлов. Т. 2 / Под ред. Ж. Бенара ; перев. с франц. — М. : Металлургия, 1969. — 444 с.
19. **Колесников-Свинарев В. И., Истратов А. Г., Смирнов В. И.** и др. Влияние параметров окисляющей среды на горение капли алюминия // Физика аэродисперсных систем. — Киев – Одесса : Вища шк., 1987. — Вып. 31. — С. 57–63.
20. **Шафирович Е. Я., Гольдшлегер У. И.** Воспламенение и горение частиц магния в углекислом газе // Физика горения и взрыва. — 1990. — Т. 26, № 6. — С. 50–57.
21. **Попов Е. И., Великанова В. П.** Самовоспламенение алюминиево-магниевых порошков в углекислом газе // Физика аэродисперсных систем. — Киев – Одесса : Вища шк., 1985. — Вып. 28. — С. 25–27.
22. **Shafirovich E. Ya., Shiryaev A. A., Goldshleger U. I.** Magnesium and Carbon Dioxide : a Rocket Propellant for Mars Missions // Journal of Propulsion and Power. — 1993. — Vol. 9, No. 2. — P. 197–203.

*Материал поступил в редакцию 12 марта 2010 г.
Электронные адреса авторов: malininv@mail.ru,
ttn@perm.ru, very.bad.santa@yandex.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



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

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

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

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



А. Я. Васин
д-р техн. наук, профессор Российского химико-технологического университета, г. Москва, Россия



Е. Б. Аносова
ассистент Российской химико-технологического университета, г. Москва, Россия



Л. К. Маринина
канд. хим. наук, профессор Российского химико-технологического университета, г. Москва, Россия

УДК 614.849

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ИСПАРЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ АНТУАНА ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДТА

Представлены результаты определения значений энталпии испарения для шести веществ — полупродуктов синтеза новых фармацевтических препаратов с использованием дифференциального-термического анализа (ДТА). На основании полученных данных определены коэффициенты уравнения Антуана, связывающие значение давления насыщенного пара расплавов веществ с температурой (в узком температурном интервале). Рассмотрена возможность предварительного вычисления значения температуры воспламенения твердых плавких соединений, испаряющихся при нагреве, с использованием уравнения Антуана. Получены удовлетворительные результаты.

Ключевые слова: дифференциальный-термический анализ, дериватограмма, энталпия испарения, уравнение Антуана, температура воспламенения.

Дифференциальный-термический анализ (ДТА), осуществляемый при помощи дериватографа, является комплексным термическим анализом, крайне необходимым для всестороннего исследования поведения веществ при их нагревании [1]. Дериватограммы не только позволяют судить о фазовых превращениях и скоростях протекающих процессов, но и дают возможность количественно оценить их. Настоящее исследование посвящено применению данных ДТА для определения энталпии испарения $\Delta H_{\text{исп}}$ и параметров уравнения Антуана для расплавов некоторых порошкообразных веществ, использующихся при производстве новых отечественных фармацевтических препаратов, и предварительного расчета значений температуры их воспламенения. Температура воспламенения входит в перечень обязательных показателей для оценки пожаровзрывоопасности твердых веществ и материалов [2].

Все соединения, используемые в исследований, были получены из НИИ Фармакологии РАМН им. В. В. Закусова. Их чистота составляла не менее 99 % масс., что было подтверждено данными ИК- и ПМР-спектроскопии. Влажность образцов не превышала 3 % масс. Структурные формулы и характеристики исследованных веществ приведены в табл. 1.

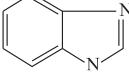
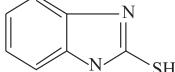
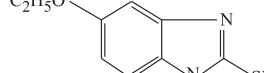
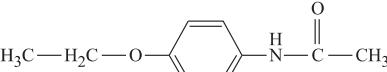
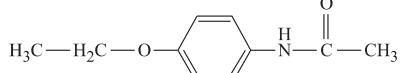
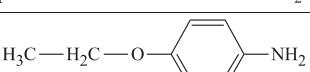
Потеря массы веществ фиксировалась дериватографом в виде двух кривых: простой термогравиметрической (ТГ) и дифференциальной-термогравиметрической (ДТГ). Разбив кривую ТГ линиями, параллельными оси ординат (потери массы образца), можно для каждой заданной температуры определить соответствующую ей потерю массы исследуемого соединения (рис. 1).

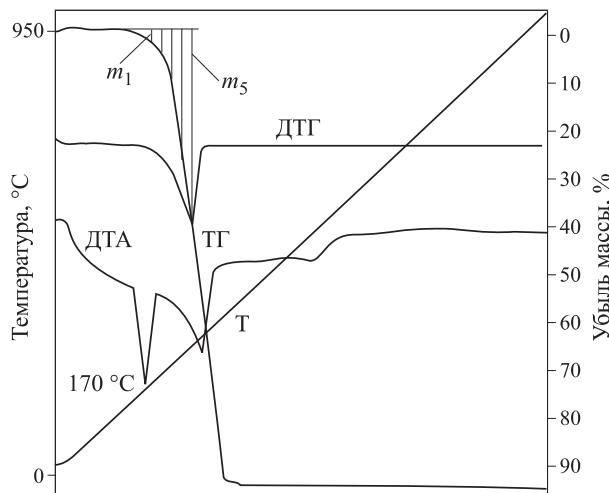
В интервале температур, когда скорость убыли массы максимальна, концентрация насыщенных паров вещества достигает значения, при котором они могут воспламениться. Такому интервалу температур соответствует пик на кривой ДТГ и эндотермический эффект для всех рассматриваемых соединений.

Проведенные нами исследования показали, что исследуемые вещества при их нагревании до 300–330 °C являются термически стойкими. На это указывает идентичность полученных ИК-спектров исходных веществ (бензимидазол, 2-меркаптобензимидазол и 5-этокси-2-меркаптобензимидазол) и продуктов их термообработки при 250–330 °C. Элементный состав производных бензимидазола и их продуктов термической обработки приведен в табл. 2.

© Васин А. Я., Аносова Е. Б., Маринина Л. К., 2010

Таблица 1. Характеристики исследованных веществ

Название и структурная формула вещества	Молекулярная масса, г/моль	Содержание основного вещества, % масс.	Температура плавления, °C
	118,14	99,8	169–170
	150,21	99,1	298–300
	194,28	99,4	240–243
	179,00	99,3	132–134
	224,23	99,9	101–103
	152,20	99,5	109–111

**Рис. 1.** Дериватограмма бензимидазола, нагрев 5 °C/мин, $m_1 \dots m_5$ — отрезки, относительная длина которых характеризует скорость убыли массы

Полученные результаты показывают, что состав всех веществ в начале их термической убыли фактически не меняется (различия в составе находятся в пределах погрешности метода определения). Следовательно, все вещества при нагревании сначала плавятся, а затем подвергаются испарению той или иной интенсивности с сохранением химической структуры.

Движущей силой испарения (возгонки) является разность парциальных давлений между внутрен-

Таблица 2. Элементный состав производных бензимидазола и продуктов их термической обработки

Вещество	Содержание элемента, % масс.			
	C	S	N	H
Бензимидазол (вычислено)	70,00	—	23,70	5,06
Продукт термической обработки (убыль массы 21 %) при 250 °C (найдено)	69,88	—	23,64	5,07
2-Меркаптобензимидазол (вычислено)	55,97	20,73	18,65	4,03
Продукт термической обработки (убыль массы 10 %) при 315 °C (найдено)	55,81	21,35	18,44	3,95
5-Этокси-2-меркаптобензимидазол (вычислено)	55,64	16,51	14,42	5,20
Продукт термической обработки (убыль массы 15 %) при 312 °C (найдено)	55,32	16,70	14,15	5,01

ним и граничным воздушным слоями. Рассматривая процесс испарения в узком слое, прилегающем к поверхности раздела фаз, можно считать его равновесным в узком температурном промежутке. Поскольку испарение протекает при постоянном внешнем давлении, равном атмосферному, и интенсивном газообмене образца с окружающей средой, летучесть и газообразного продукта приблизительно равна его парциальному давлению [3]. Последнее

(равенство летучести парциальному давлению) справедливо для кратковременного процесса, связанного с интенсивным испарением в условиях открытых тиглей в температурном интервале 20–50 °C. При этом нами предполагалось, что конденсированная фаза представляет собой идеальный раствор. Данному процессу соответствует первый интенсивный пик на кривых ДТГ дериватограмм всех образцов.

Температура интенсивного испарения образцов лежит в интервале 177–277 °C, что на 20–50 °C ниже температуры их воспламенения.

Парциальное давление, в свою очередь, зависит от энталпии испарения согласно уравнению Клаузиуса – Клайперона [4], интегральная форма которого имеет вид:

$$\ln p = -\Delta H_{\text{исп}} / RT + C, \quad (1)$$

где $\Delta H_{\text{исп}}$ — энталпия испарения, ккал/моль;

R — универсальная газовая постоянная;

T — температура, К;

C — константа, связанная с энтропией перехода.

Величину C можно определить по нормальной температуре кипения с помощью равенства [4]:

$$C = \Delta H_{\text{исп}} / R t_{\text{кип}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{кип}}$ — температура кипения при атмосферном давлении.

Итак, зная величины $\Delta H_{\text{исп}}$ и $t_{\text{кип}}$ вещества, можно получить зависимость давления насыщенных паров от температуры для узкого (несколько десятков градусов) температурного интервала. Для исследованных веществ значения $t_{\text{кип}}$ были определены с помощью программы ACDLab ChemSceech. Значения $\Delta H_{\text{исп}}$ устанавливались по методике [5]. Этот метод представляется достаточно точным и простым в исполнении и заключается в построении зависимости логарифма скорости потери массы образца от обратного значения температуры ($\lg m$ от $1/T$). Согласно [5] данная зависимость имеет следующий вид:

$$\lg m = -\Delta H_{\text{исп}} / 4,575T + C. \quad (3)$$

Таким образом, построив графическую зависимость $\lg m$ от $1/T$, можно по тангенсу наклона прямой определить значение $\Delta H_{\text{исп}}$ исследованного соединения (рис. 2).

Погрешность определения $\Delta H_{\text{исп}}$ составляет 0,1–0,3 ккал/моль [5], но может возрастать для веществ, относительно трудно испаряющихся. У таких веществ на границе раздела фаз, в тонком поверхностном слое расплава, давление газообразной фазы может значительно превышать атмосферное.

В табл. 3 приводятся значения $\Delta H_{\text{исп}}$ для шести исследованных соединений, полученные с использованием данных ДТА. Следует отметить, что эн-

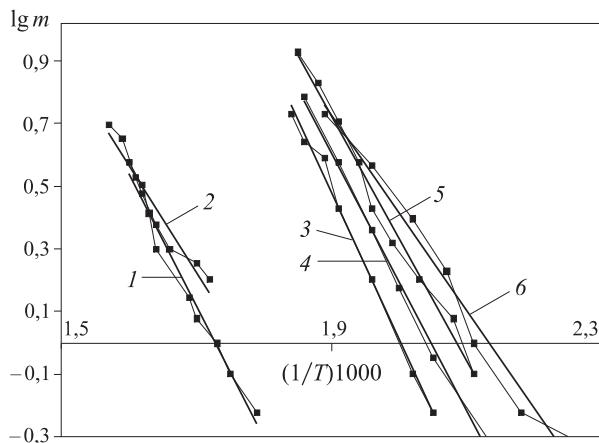


Рис. 2. Температурная зависимость скорости убыли массы исследованных соединений: 1 — 2-меркаптобензимидазол; 2 — 5-этокси-2-меркаптобензимидазол; 3 — бензимидазол; 4 — фенацетин; 5 — нитрофенетидин; 6 — 3-нитрофенацетин

талпия испарения является важной физико-химической характеристикой вещества, а ее значения, полученные для производных анилина и бензимидазола, можно использовать как справочные величины. Значения $\Delta H_{\text{исп}}$, определенные для шести исследованных в настоящей работе веществ, близки к $\Delta H_{\text{исп}}$ анилина — 599,5 кДж/кг [6].

Поскольку все исследованные соединения испаряются из расплавов без разрушения химической структуры, представляется корректным рассматривать их поведение аналогичным поведению горючих жидкостей в узком интервале температур.

Для вычисления температуры воспламенения горючих жидкостей часто используется метод с применением уравнения Антуана [7]. Константы уравнения Антуана и зависимость Антуана являются справочными величинами, характеризующими пожарную опасность горючих жидкостей. Их рассчитывали с использованием интегральной формы

Таблица 3. Энталпия испарения и параметры уравнения Антуана исследованных соединений

Название вещества	$\Delta H_{\text{исп}}$, кДж/кг	C	A	B	C_A
Бензимидазол	754,08	16,95	10,46	2661,15	29,27
2-Меркапто-бензимидазол	517,00	15,43	9,17	2315,34	29,2
5-Этокси-2-меркаптобензимидазол	365,95	12,97	8,69	4625,15	391,62
Нитрофенетидин	453,46	14,40	9,23	4025,67	278,46
Фенацетин	441,23	15,08	6,08	1552,48	90,99
3-Нитрофенацетин	266,65	11,58	4,45	866,28	23,15

уравнения Клаузиуса – Клайперона (1) при трех температурах, соответствующих интервалу интенсивной убыли массы. Решение системы из трех уравнений, в которые были подставлены эти значения, позволило получить формулы для расчета параметров уравнения Антуана:

$$C_A = (k_2 t_2 - k_1 t_3) / (k_1 - k_2), \quad (4)$$

$$\text{где } k_1 = (\lg p_3 - \lg p_2) / (\lg p_2 - \lg p_1); \quad (5)$$

$$k_2 = (t_3 - t_1) / (t_2 - t_1); \quad (6)$$

$$B = (\lg p_2 - \lg p_1)(C_A + t_1)(C_A + t_2) / (t_2 - t_1); \quad (7)$$

$$A = \lg p_1 + B / (C_A + t_1); \quad (8)$$

p_1, p_2, p_3 — давления пара соответственно при температурах t_1, t_2, t_3 .

Вычисленные по (4), (7) и (8) параметры уравнения Антуана приведены в табл. 3.

На основании уравнения Антуана можно определить температуру воспламенения $t_{\text{восп}}$ плавких веществ [7]. Расчетные и полученные экспериментально значения $t_{\text{восп}}$ приведены в табл. 4. Относительная погрешность метода расчета на основании уравнения Антуана позволяет использовать его для предварительной оценки $t_{\text{восп}}$ твердых дисперсионных веществ, не разлагающихся при нагреве.

Таблица 4. Значения $t_{\text{восп}}$ исследованных соединений, полученные экспериментально и расчетными методами

Название вещества	$t_{\text{восп}}, ^\circ\text{C}$	
	расчет	эксперимент
Бензимидазол	256	210
2-Меркаптобензимидазол	258	320
5-Этокси-2-меркаптобензимидазол	243	300
Нитрофенетидин	215	205
Фенацетин	219	210
3-Нитрофенацетин	238	197

Выводы

1. С использованием метода ДТА определены значения энталпии испарения расплавов шести твердых дисперсных веществ — полупродуктов синтеза новых фармацевтических препаратов. Вычислены коэффициенты уравнения Антуана.

2. На основании полученных данных определены температуры воспламенения шести исследованных соединений. Среднее значение относительной погрешности расчета составляет 15 %, что дает основание рекомендовать расчетный метод с использованием уравнения Антуана для предварительной оценки пожароопасности твердых плавких веществ наряду с методом [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уэндландт У. Термические методы анализа. — М. : Мир, 1978. — 526 с.
2. 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.
3. Сивухин Д. В. Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов. — М., 1990. — 592 с.
4. Киреев В. А. Курс физической химии. — М. : Химия, 1975. — 775 с.
5. Степин Б. Д., Аллахвердов Г. Р., Серебренникова Г. М. Определение теплоты термической диссоциации твердого вещества по данным термогравиметрического анализа // ЖФХ. — 1969. — № 10. — С. 2452–2456.
6. Стал Д., Верстам Э., Зинке Г. Химическая термодинамика органических соединений. — М. : Химия, 1971. — 807 с.
7. ГОСТ 12.1.044–89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 1991-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 1990. — 143 с.
8. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов : руководство. — М. : ВНИИПО, 2002. — 77 с.

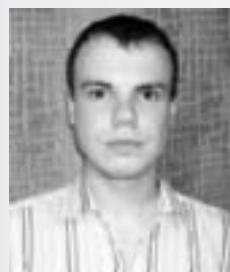
Материал поступил в редакцию 16 февраля 2010 г.
Электронный адрес авторов: sova.75@mail.ru.



В. М. Балакин
канд. хим. наук, профессор
Уральского государственного
лесотехнического университета,
г. Екатеринбург, Россия



Е. Ю. Полищук
канд. техн. наук, старший препода-
ватель Уральского института Государ-
ственной противопожарной службы
МЧС России, г. Екатеринбург, Россия



А. В. Рукавишников
аспирант Уральского государ-
ственного лесотехнического
университета, г. Екатеринбург,
Россия



А. М. Селезнев
аспирант Уральского
государственного лесотех-
нического университета,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 620.197.6

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ И ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АМИНОАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ (литературный обзор)

Проблема повышения пожаробезопасности строительных материалов в настоящее время остается актуальной, несмотря на многообразие огнезащитных составов для деревянных и металлических конструкций. Наиболее широко в производстве огнезащитных покрытий применяются аминоальдегидные олигомеры. Проблеме создания и использования огнезащитных составов на их основе и посвящен настоящий литературный обзор.

Ключевые слова: аминоальдегидные олигомеры, огнезащитный состав, пожаробезопасность.

Несмотря на широкий ассортимент огнезащитных составов как для древесины, так и для металлических конструкций, проблема повышения пожаробезопасности строительных материалов остается актуальной [1].

Наиболее эффективными являются вспучивающиеся огнезащитные составы, способные при относительно небольшом расходе в условиях пожара образовывать вспученный слой, который становится физическим барьером на пути распространения пламени.

Наиболее широко в производстве огнезащитных составов и покрытий применяются аминоальдегидные олигомеры. Аминоальдегидные олигомеры (карбамидо-, меламино- и анилиноформальдегидные) используются для получения огнезащитных составов и покрытий для деревянных и металлических конструкций.

Благодаря высокому содержанию азота и низкому содержанию углеводородной части в структуре аминоальдегидных олигомеров последние представляют интерес с точки зрения возможности использования их для создания эффективных огнезащитных составов.

Одним из перспективных направлений в создании огнезащитных составов на основе аминоальде-

гидных олигомеров является модификация их фосфорсодержащими соединениями [2, 3]. Неустойчивость фосфорсодержащих составов на основе аминоальдегидных олигомеров, обусловленная их склонностью к преждевременному отверждению, привела к тому, что в настоящее время большинство огнезащитных составов на основе аминоальдегидных олигомеров — двухкомпонентные (смешение компонентов производится непосредственно перед применением) [4].

За последние годы наиболее перспективным направлением стало создание фосфорсодержащих аминоальдегидных олигомеров, получаемых в процессе синтеза и обладающих высокой огнезащитной эффективностью.

Огнезащитные составы, получаемые перед насыщением на защищаемую поверхность материала путем смешения аминоальдегидных олигомеров с фосфорсодержащими соединениями (полифосфаты, аммонийфосфаты), выпускались в промышленном масштабе: например, в ГДР — состав марки DS-324, в Финляндии — состав “Винстер”, в СФРЮ и ФРГ — состав “Пироморс” и т. д. [5].

В России авторами работы [6] было получено огнезащитное вспучивающееся покрытие, которое необходимо приготавливать непосредственно перед

© Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Рукавишников А. В., Селезнев А. М., 2010

нанесением на защищаемую поверхность. Данное покрытие состоит из пленкообразователя (карбамидоформальдегидной смолы), коксообразующей смеси (смеси многоатомных спиртов с полифосфатом аммония), антисептика, поверхностно-активного вещества, пластификатора, пеногасителя. Жизнеспособность огнезащитного состава зависит от степени его разбавления и от типа применяемого растворителя.

В 1995 г. Р. Г. Амбарцумян и С. Д. Кутько [7] запатентовали огнезащитный вспучивающийся состав, включающий водорастворимую мочевиноформальдегидную смолу или водорастворимую мочевиномеламиноформальдегидную смолу, фосфат аммония, каолин, стекловолокно и воду. Достоинством данного состава является низкое водопоглощение и длительный срок службы покрытия.

Позднее, в 1998 г., Р. Г. Амбарцумяном [8] был разработан огнезащитный вспучивающийся состав для деревянных конструкций, который включал аминоформальдегидную смолу, фосфат аммония, пентаэритрит (или пентрол), каолин, п-третбутилфенолформальдегидную смолу и воду. В качестве аминоформальдегидной смолы применялась водорастворимая меламиноформальдегидная, или карбамидомеламиноформальдегидная, или карбамидоформальдегидная смола. Жизнеспособность готового состава крайне низка, поэтому вводить фосфат аммония необходимо непосредственно перед обработкой деревянных конструкций (жизнеспособность состава без фосфата аммония составляет 6 мес).

Этот состав имеет ряд недостатков: невысокие огнезащитные свойства, значительный расход (485–515 г/м²), а также высокую токсичность.

В 2002 г. В. П. Пименовой [9] была запатентована огнезащитная вспенивающаяся композиция для покрытий, содержащая водорастворимую мочевиноформальдегидную или мочевиномеламиноформальдегидную смолу, полифосфат аммония, дициандиамид, спирт, термореактивную смолу, инертный наполнитель и воду. В качестве спирта в композиции используется смесь эфиров и формалей диоксановых спиртов, в качестве термореактивной смолы — эпоксидная смола, в качестве инертного наполнителя — аэросил и диоксид титана. Дополнительно в композицию включают гексаметоксиметилмеламиновую смолу, поливинилацетатную дисперсию, мелем, трихлорэтилфосфат или трихлорпропилфосфат, натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы или метилгидроксиэтилцеллюлозу. Композиция может содержать также нитрат аммония и метилсиликонат натрия или калия.

Известен огнезащитный состав для покрытия электрических кабелей от возгорания и распростране-

ния пламени и защиты различных полимерных и деревянных поверхностей, запатентованный в 1994 г. [10]. Состав содержит поливинилацетатную дисперсию, водный раствор мочевиномеламиноформальдегидной смолы, натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы, карбонат кальция, жидкое стекло, аэросил, дициандиамид, каолин, достенсилиманиновый концентрат — отход цирконового производства, базальтовое супертонкое волокно, воду. Недостатком этого состава является недостаточная водостойкость покрытий.

Еще в 1954 г. К. Кристиансоном был запатентован [11] огнезащитный состав на основе карбамидоформальдегидной смолы. Для придания огнезащитных свойств смоле предлагалось использовать соединения, включающие аммиак или аммонийные соли неорганических кислот, способные играть роль дегидратирующих агентов. В качестве катионной части возможно применение метиламина, диметиламина, этиламина, этилендиамина, мочевины, меламина, морфолина и других подобных азотсодержащих соединений. В качестве анионной части предпочтительно использовать фосфаты, а также возможно применение радикалов, включающих сульфаты, бораты.

В 90-х годах разработан пленкообразующий антипирен — связующее для древесно-стружечных плит [12]. Были получены результаты по созданию водных растворов формальдегидных смол, обладающих клеевыми и огнезащитными свойствами одновременно. Синтезирована фосфоразотсодержащая дициандиамидоформальдегидная смола (СПАД), являющаяся эффективным антипиреном и обладающая клеевыми свойствами. Огнезащитные свойства смолы экспериментально проверены на ряде древесных материалов. СПАД наносится на поверхность древесины, ДСП, ДВП. При нанесении антипирена на поверхность древесины происходит капиллярная пропитка ее на глубину до 3 мм, а на поверхности обработанного древесного материала образуется тонкая защитная пленка. Поликонденсация происходит при естественных условиях, при этом с течением времени отверждение обработанной поверхности углубляется, происходит модификация поверхности древесины. Оценка огнезащитных свойств СПАД показала, что поверхностная защита ему древесного материала позволяет придать ему не только трудногорючие свойства, но и обеспечить нулевой индекс распространения пламени по его поверхности. Так как в качестве основного вещества в составе пленкообразующего антипирена СПАД применяется дициандиамидоформальдегидная смола, авторы считают, что этот антипирен можно использовать в качестве антипирена-связующего для производства ДСП, а также других

древесных пластиков и плит. Испытания дымообразующей способности показали, что обработка древесных материалов СПАД переводит их из группы материалов с высокой дымообразующей способностью в группу с умеренным дымообразованием; при этом коэффициент дымообразования приближается к материалам, обладающим малой дымообразующей способностью. По токсичности продуктов горения древесные материалы, обработанные СПАД, отнесены к умеренноопасным (3-й класс опасности), что также на класс ниже, чем у необработанных материалов, которые классифицируются как высокоопасные по токсичности продуктов горения.

В нашей стране большое количество работ посвящено модификации карбамидоформальдегидных смол, применяющихся в производстве ДКМ [13–17].

В опубликованном в 2006 г. патенте [13] описан способ получения антипиренов, применяющихся в деревообрабатывающей промышленности и строительстве при проведении мероприятий по огнезащите изделий из сухой древесины. Получение антипиренов осуществляется взаимодействием карбамидоформальдегидного концентрата, формальдегида, воды и аммиачной воды, взятых в эквимолярном отношении по формальдегиду и аммиаку, при нагревании в слабощелочной среде в присутствии аминоспирта. Расход антипиренов для перевода древесины в I группу по огнезащитной эффективности составляет 300 г/м².

В патентах [14–16] совершенствуется предлагаемый огнезащитный состав. В патенте [14] к уже нейтрализованному фосфорной кислотой продукту добавляется 0,1–5,0 % масс. натрия кремнефтористого и 0,1–0,8 % масс. бихромата калия в расчете на карбамидоформальдегидный олигомер. В результате расход состава для перевода древесины в I группу по огнезащитной эффективности — 290 г/м².

В патенте [15] антипирен представляет собой двухкомпонентную систему, в которой первый компонент — карбамидоформальдегидный олигомер, получаемый по рецептуре, описанной в предыдущих патентах, и нейтрализованный фосфорной кислотой, а второй — водная дисперсия акриловых или винилацетатных полимеров. Предлагаемый в патенте состав способен сохранять высокую эффективность после воздействия на древесину воды.

В патенте [16] к антипирену, описанному в [13], вводится 0,1–20 % масс. второй порции карбамида, 0,01–0,1 % масс. неионогенного ПАВ и 0,1–1,5 % масс. бихромата калия в расчете на 100 % масс. карбамидоформальдегидного концентрата. Составы, описанные в данных патентах, получили торговые названия ОСА-1, ОСА-1А и ОСА-1В [17].

В 2008 г. В. Н. Махлай, С. В. Афанасьев, А. А. Триполицын [18] запатентовали способ получения огнезащитного состава вспучивающего действия для древесины и металлоконструкций путем смешения металлофосфата и композиции, содержащей отвердитель, ионогенное ПАВ и продукт НОТЕХ. Причем в качестве отвердителя используются аминный модификатор АМ-1, аминоспирты или огнезащитный состав, полученный путем взаимодействия карбамида содержащего соединения с аммиачной водой при нагревании в слабощелочной среде в присутствии аминоспирта, с последующей доконденсацией с карбидом и нейтрализацией ортофосфорной кислотой до pH 6,0–8,0. В качестве ионогенного ПАВ используется пенообразователь ПО-6 ТС марок А и Б при следующем содержании ингредиентов, % масс.: металлофосфат — 40–90; отвердитель — 5–30; ионогенное ПАВ — 0–15; продукт НОТЕХ — 0–20. Применение данного способа обеспечивает повышение эффективности огнезащиты и умеренную скорость отверждения получаемого антипирена.

Таким образом, большинство приведенных составов представляют собой традиционные карбамидоформальдегидные смолы, смешанные с азотфосфорсодержащими соединениями и наполнителями.

Больший интерес представляют разработки Г. А. Пирсона [19–25], в которых предлагаются методы модификации карбамидоформальдегидных смол на стадии синтеза фосфорсодержащими соединениями.

В патенте [19] описаны методы получения олигомеров путем смешения формальдегида, катализирующей кислоты, триэтаноламина и мочевины. В качестве катализирующей кислоты могут использоваться неорганические кислоты, такие как соляная, серная и фосфорная, причем наиболее предпочтительным является применение фосфорной кислоты. Она в качестве катализирующей кислоты позволяет не только быстро достигать результата, но и контролировать реакцию. Полученный продукт имеет хорошие огнезащитные свойства.

В 1984 г. Г. А. Пирсон запатентовал [22] в качестве огнезащитного вспучивающегося покрытия продукт реакции карбамида, формальдегида, фосфорной кислоты и триэтаноламина в соотношении 1:2,7:1,33:0,2 соответственно. Получаемое покрытие характеризуется высокой огнезащитной эффективностью, быстрой высыханием, отсутствием запаха формальдегида после высыхания и может служить полимерной основой при производстве красок.

В 50-х годах были описаны возможности получения огнезащитных вспучивающихся покрытий

по металлу. В патентах США [26–28] предлагались вспучивающиеся системы на основе карбамидоформальдегидного олигомера, получаемые совместной конденсацией параформа,monoаммоний или диаммонийфосфата, мочевины, крахмала или декстрина и альдегида. После введения альдегида состав должен быть использован в течение 1,5 ч. Хотя эти покрытия было трудно использовать и они были практически неводостойки, это были первые промышленные вспучивающиеся краски.

В 1996 г. Р. Г. Амбарцумян, С. Д. Кутько, А. Ф. Левченко, В. М. Карлик, А. В. Печников разработали огнезащитный вспучивающийся состав для покрытий [29]. Данный состав содержит водорастворимую мочевино- или меламиноформальдегидную смолу, фосфат аммония, полиспирт, каolin, воду и дополнительно п-третбутилфенолформальдегидную смолу, меламин, циануровую кислоту, аммелин и аммелид. Толщина покрытия на металлической поверхности — 2,6–2,8 мм, на деревянной поверхности — 0,5 мм, адгезия при отрыве (по ГОСТ 15140–78) через 12 мес к металлу — 5,4–6,4 кгс/см².

В 1995 г. Л. В. Алалыкиной, Л. А. Федореевой [30] запатентована сырьевая смесь для огнезащитного состава, которая содержит карбамидоформальдегидную смолу, молотый мел, слюду, 5 %-ный водный раствор карбоксиметилцеллюлозы, аммофос. Адгезия затвердевшей сырьевой смеси с металлом наступает через 28 сут и составляет 7,8–10,5 кгс/см².

В этом же году была запатентована сырьевая смесь [31] для огнезащитного покрытия, включающая формальдегидное связующее, водный раствор карбоксиметилцеллюлозы, аммофос и наполнитель. Адгезия затвердевшего слоя покрытия с металлом — 0,92–1,03 МПа, предел прочности на сжатие — 0,61–0,76 МПа, высота вспучивающегося слоя — 4,9–5,0 см.

В патente [32] С. Г. Шуклин предлагает огнезащитную полимерную композицию для покрытий, включающую эпоксидиановую смолу ЭД-20, полифосфат аммония, карбамидоформальдегидную смолу КФ-Ж, отверждаемую полиэтиленполиамином. При этом в композицию дополнительно вводится продукт дегидрополиконденсации фенантрена, содержащий хром. Композицию получают простым смешением компонентов, покрытия и образцы — наливом. Существенным недостатком данного состава является высокая стоимость и большой расход.

В 2006 г. А. М. Сахаров, С. П. Круковский, А. А. Ярош, М. Ю. Попович [33] запатентовали способ получения фосфорсодержащей триаминотолуолформальдегидной смолы, заключающийся в том, что фосфорно-кислую соль триаминотолуола подвергают взаимодействию с формальдегидом при температуре реакции 20–80 °С. Отличительной

особенностью предложенного способа является применение в качестве ароматического амина триаминотолуола в виде его фосфорно-кислой соли.

Наличие фосфорной кислоты в триаминотолуолформальдегидной смоле предотвращает ее возгорание. Кроме того, кислота способствует обугливанию углеводородной части молекулы и выделению газообразных продуктов деструкции, которые обеспечивают вспенивание покрытия.

Позднее, в 2008 г., А. М. Сахаров, А. А. Ярош, С. П. Круковский, М. Ю. Попович [34] запатентовали способ получения триаминотолуолфосфаткарбамидоформальдегидной смолы, заключающийся в том, что триаминотолуолфосфат, карбамид и д-этаноламин подвергают взаимодействию с формальдегидом. Реакцию ведут при температуре 20 °С с последующим повышением ее до 80 °С в течение 3 ч. В результате образуется упомянутая смола в виде гомогенного раствора в воде. Полученная смола может найти применение в качестве интумесцентного покрытия для строительных материалов и конструкций.

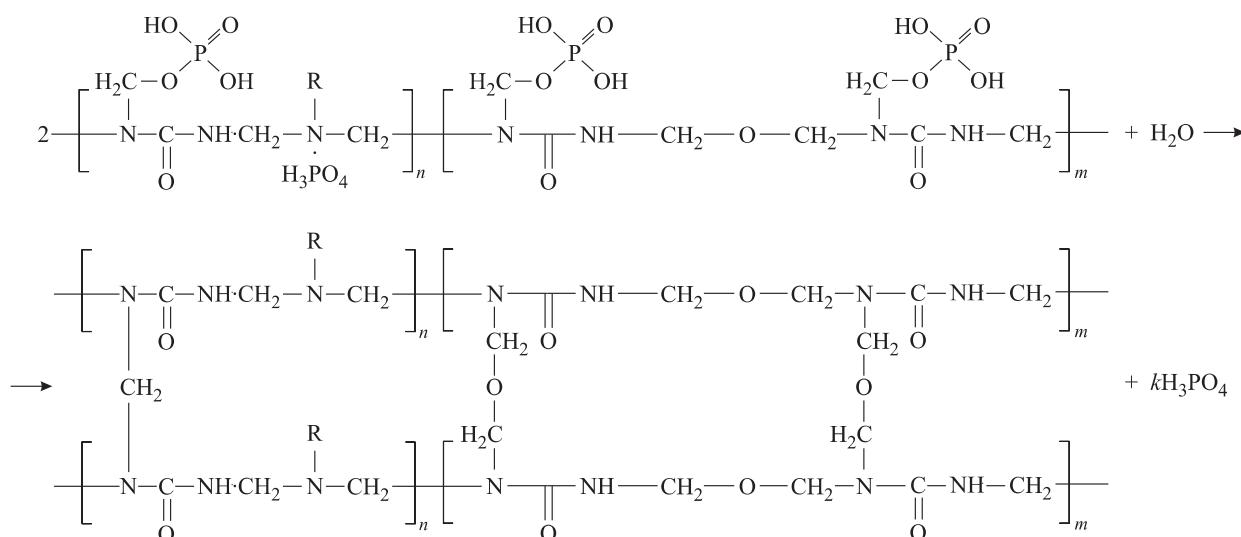
В работах [35–37] были исследованы карбамидоформальдегидные олигомеры, модифицированные алканоламинами и фосфорной кислотой, которые используются для огнезащитной обработки древесины и обладают как kleящими свойствами, так и высокой огнезащитной эффективностью [35, 36]. Полученные олигомеры представляют собой прозрачный водный раствор с pH среды 1–2. В отличие от традиционных карбамидных смол данные олигомеры, несмотря на низкое значение pH, способны храниться длительное время, не теряя основных физико-химических свойств.

К особенностям данного олигомера относится его способность отверждаться под действием воды, дополнительно внесенной в готовый олигомер.

Структура смолы изучалась с помощью методов ИК-спектроскопии и элементного анализа [37]. На основании полученных данных предложена структура неотверженной смолы и смолы, отверженной водой, представленная на рисунке.

Обработка древесины подобными составами обеспечивает достаточно привлекательный декоративный вид: на поверхности образуется тонкая глянцевая пленка, наблюдается незначительное пожелтение поверхности.

В условиях пожара карбамидоформальдегидный олигомер обеспечивает образование вспученного слоя и выделение пламегасящих газов, таких как CO₂ и NH₃. Содержащая же в составе фосфорная кислота приводит к обугливанию поверхностного слоя древесины, предотвращая ее глубокое разложение, а также повышает выход негорючего CO₂, снижая концентрацию CO.



Структура неотверженной смолы и смолы, отверженной водой

Проведенные ИПЛ ГПС МЧС России г. Екатеринбурга сертификационные испытания показали, что данный состав, получивший торговое название “Огнешит-07” и внедренный в производство на

предприятии ЗАО “Сибтехнология”, обеспечивает защищаемому покрытию I группу по огнезащитной эффективности (потеря массы менее 9 %) при расходе 150 г/м².

Примечание ред.: В недавно принятом своде правил (СП 2.1313130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты, п. 5.2.4) указано, что “эффективность средств огнезащиты, применяемых для снижения пожарной опасности материалов, должна оцениваться посредством испытаний для определения показателей пожарной опасности строительных материалов, установленных в Ст. 13 Федерального закона № 123-ФЗ”, т. е. горючести, воспламеняемости, распространения пламени по поверхности, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненахов С. А., Пименова В. П., Пименов А. Л. Проблемы оценки ресурса работоспособности огнезащитных вспучивающихся покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 8. — С. 46–49.
2. Сарсембина Б. Т., Никитина И. И., Гибов К. М. Фосфор- и азотсодержащие антипириены в ингибиравании горения полимеров / / Трактаты Института хим. наук АН КазССР. — 1990. — Т. 73. — С. 175–192.
3. Сарсембина Б. Т., Никитин И. И., Гибов К. М. и др. О механизме действия фосфорсодержащих замедлителей горения полимеров // Изв. АН КазССР. — 1986. — Т. 66. — С. 158–190.
4. Балакин В. М., Полищук Е. Ю. Азотфосфорсодержащие антипириены для древесины и древесных композиционных материалов (литературный обзор) // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 2. — С. 43–51.
5. Баратов А. Н., Андрианов А. А., Корольченко А. Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов / Под ред. А. Н. Баратова. — М. : Стройиздат, 1988. — 380 с.
6. Егоров В. В., Григорьев Ю. А., Халтуринский Н. А. и др. Огнезащитное вспучивающееся покрытие // Полимерные материалы пониженной горючести : тез. докл. 5 Междунар. конф., Волгоград, 1–2 октября 2003 г. — Волгоград : Политехник, 2003. — С. 9.
7. Пат. 2028348 РФ. Огнезащитный вспучивающийся состав / Амбарцумян Р. Г., Кутько С. Д. — Опубл. 09.02.1995.
8. Пат. 2119516 РФ. Огнезащитный вспучивающийся состав для покрытия деревянных поверхностей / Амбарцумян Р. Г. — Опубл. 27.09.1998.
9. Пат. 2185409 РФ. Огнезащитная вспенивающаяся композиция / Пименова В. П. — Опубл. 20.07.2002.
10. Пат. 2017778 РФ. Огнезащитный состав для покрытия / Медведев Ю. Н., Поединцев И. Ф., Бойцов В. Ф. и др. — Опубл. 15.08.1994.

11. **Пат. 2681326 США.** Water reducible fire-retardant coating compositions / Conrad Y. Christianson. — Опубл. 15.06.1954.
12. **Тычино Н. А., Леонович А. А.** Древесные плиты: теория и практика: 2-й науч.-практ. семинар. Санкт-Петербург, 17–18 марта 1999 г. — СПб. : Изд-во СПБЛТА, 1999. — С. 46–48.
13. **Пат. 2270752 РФ.** Способ получения антиприрена / Махлай В. Н., Афанасьев С. В., Михайлин М. П., Коротков Р. В. — Опубл. 27.02.2006.
14. **Пат. 2270751 РФ.** Способ получения антиприрена / Афанасьев С. Б., Махлай В. Н., Михайлин М. П. — Опубл. 27.02.2006.
15. **Пат. 2284263 РФ.** Способ получения антиприрена / Афанасьев С. Б., Махлай В. Н., Коротков Р. В. — Опубл. 27.09.2006.
16. **Пат. 2290299 РФ.** Способ получения антиприрена / Афанасьев С. Б., Махлай В. Н. — Опубл. 27.05.2006.
17. **Афанасьев С. В., Лисовская Л. В., Триполицин А. А.** Производство и потребление КФК в России // Дерево.RU. — 2007. — № 1. — С. 9–10.
18. **Пат. 2339671 РФ.** Огнезащитный состав вспучивающего действия / Махлай В. Н., Афанасьев С. В., Триполицин А. А. — Опубл. 27.11.2008.
19. **Пат. 3883462 США.** Novel resinous compositions comprising sequential reaction product of formaldehyde, inorganic acid, trietanolamine and urea / Pearson G. A. — Опубл. 13.05.1975.
20. **Пат. 4119598 США.** Fire retardant ureaformaldehyde composition / Pearson G. A. — Опубл. 10.10.1978.
21. **Пат. 4370442 США.** Fire retardant composition / Pearson G. A. — Опубл. 25.01.1983.
22. **Пат. 4427745 США.** Novel fire retardant composition and methods / Pearson G. A. — Опубл. 24.01.1984.
23. **Пат. 4663239 США.** Fire retardant composition / Pearson G. A. — Опубл. 05.05.1987.
24. **Пат. 4215172 США.** Novel resinous coating composition / Pearson G. A. — Опубл. 29.07.1980.
25. **Пат. 3984367 США.** Durable press composition and process / Pearson G. A. — Опубл. 05.11.1976.
26. **Пат. 2452054 США.** Fire-retardant composition and process / Jones G., Juda W., Soll S. — Опубл. 26.11.1948.
27. **Пат. 2542055 США.** Amylaceous fire-retardant composition / Jones G., Juda W., Soll S. — Опубл. 26.11.1948.
28. **Пат. 2523626 США.** Fire-retardant composition and process / Jones G. — Опубл. 26.09.1950.
29. **Пат. 2065463 РФ.** Огнезащитный вспучивающийся состав для покрытий / Амбарцумян Р. Г., Кутько С. Д., Левченко А. Ф. и др. — Опубл. 20.08.1996.
30. **Пат. 2034806 РФ.** Сырьевая смесь для огнезащитного состава / Алалыкина Л. В., Федореева Л. А. — Опубл. 10.05.1995.
31. **Пат. 2034816 РФ.** Сырьевая смесь для огнезащитного покрытия / Алалыкина Л. В., Федореева Л. А., Черная И. С. и др. — Опубл. 10.05.1995.
32. **Пат. 2176258 РФ.** Огнезащитная полимерная композиция для покрытий / Шуклин С. Г. и др. — Опубл. 27.11.2001.
33. **Пат. 2285015 РФ.** Способ получения фосфорсодержащей триаминотолуолформальдегидной смолы / Сахаров А. М., Круковский С. П., Ярош А. А. и др. — Опубл. 10.10.2006.
34. **Пат. 2328507 РФ.** Способ получения триаминотолуолфосфаткарбамидоформальдегидной смолы / Сахаров А. М., Ярош А. А., Круковский С. П. и др. — Опубл. 10.07.2008.
35. **Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Литвинец Ю. И.** и др. Изучение огнезащитной эффективности азот-фосфорсодержащих составов для древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 39–40.
36. **Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Горбунова Е. М.** и др. Исследование огнезащитных и физико-химических свойств фосфорсодержащих карбамидоформальдегидных олигомеров // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 54–56.
37. **Балакин В. М., Полищук Е. Ю., Рукавишников А. В., Селезнев А. М.** Фосфорсодержащие антиприрены для древесных материалов на основе карбамидоаминоформальдегидных олигомеров / Матер. Междунар. конф. “Техническая химия. От теории к практике”, г. Пермь, 8–12 сентября 2008 г. — Т. 3. — С. 275–279.

Материал поступил в редакцию 15 февраля 2010 г.
 Электронные адреса авторов: e-mail: balakin_v.m@mail.ru,
 evgeniy@polishchuk.su, rukov45@el.ru, seleznev_a.m@mail.ru.



Б. И. Лирова
канд. хим. наук, доцент
Уральского государственного университета им. А. М. Горького, г. Екатеринбург, Россия



Е. А. Лютикова
старший научный сотрудник НИИ физики и прикладной математики Уральского государственного университета им. А. М. Горького, г. Екатеринбург, Россия



Е. В. Русинова
д-р хим. наук, профессор Уральского института ГПС МЧС РФ и Уральского государственного университета им. А. М. Горького, г. Екатеринбург, Россия



Н. Р. Сафонюк
студент Уральского государственного университета им. А. М. Горького, г. Екатеринбург, Россия

УДК 678.049.91:532.72

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА, СОДЕРЖАЩИЕ ПЛАСТИФИКАТОРЫ-АНТИПИРЕНЫ

Методами ИК-спектроскопии и гравиметрии изучены процессы миграции пластификаторов из ПВХ-композиций, содержащих смеси ди-(2-этилгексил)-о-фталата с фосфорсодержащими замедлителями горения — антипиренами различного химического строения. Установлена корреляция между диффузионными характеристиками пластификаторов, межмолекулярным взаимодействием компонентов в системе и огнестойкостью полимерного материала.

Ключевые слова: ПВХ, пластификаторы, антипирены, миграция, огнестойкость.

В настоящее время поливинилхлорид (ПВХ) является вторым крупнотоннажным полимером после полиэтилена. Рост потребления ПВХ в таких отраслях промышленности, как строительство, транспорт, производство упаковки, медицина, составляет приблизительно 10 % в год. Значительный прогресс в области производства ПВХ и продукции из него во многом обусловлен возможностью модификации этого полимера путем введения низкомолекулярных целевых добавок, что позволяет получать новые полимерные композиции с необходимыми потребительскими свойствами [1]. Существенным фактором, осложняющим широкое использование полимерных композиций на основе ПВХ в строительстве, является их пожарная опасность, обусловленная горючестью и сопутствующими процессами: дымо-выделением при горении и выделением токсичных химических соединений [2, 3]. Одним из способов получения ПВХ-композиций с пониженной горючестью является использование смесей традиционно применяемых пластификаторов с антипиренами [4]. В последнее время большой интерес вызывают фосфорсодержащие замедлители горения [3, 5]. Эффективность действия антипиренов в ПВХ-композициях в значительной степени определяется химической природой компонентов и их взаимодействием в системе, а также постепенными потерями пластифицирующих ингредиентов композициями при

производстве и эксплуатации последних. Исходя из этого задача исследовательской работы состояла в изучении процессов миграции пластификаторов из ПВХ-композиций при различных условиях, оценке физико-механических свойств и горючести полимерных материалов.

Исследовали ПВХ-композиции, пластифицированные индивидуальным пластификатором ди-(2-этилгексил)-о-фталатом (ДОФ) — $(C_8H_{17}COO)_2C_6H_4$ (сложный эфир 2-этилгексанола и ортофталевой кислоты) [6], а также бинарными смесями ДОФ с различными по химическому строению промышленными фосфатными пластификаторами. В качестве фосфатных пластификаторов использовали: трикрезилфосфат (ТКФ) — $CH_3(C_6H_4O)_3PO$, представляющий собой сложный эфир ортофосфорной кислоты и трикрезола или дикрезола [7]; пластификатор марки ФП (ФП) — $CH_3(C_6H_4O)(C_6H_5O)_2PO$, полный эфир ортофосфорной кислоты и смеси крезола и фенола [8]; трихлорэтилфосфат (ТХЭФ) — $(ClCH_2CH_2O)_3PO$, полный эфир ортофосфорной кислоты и этиленхлоргидрина [8]. Общее содержание пластификаторов в образцах составляло порядка 35 %, соотношение компонентов в смесевых пластификаторах было одинаковым. Для приготовления композиций использовали ПВХ марки С-70. В качестве наполнителя применяли мел марки МТД-2. Все образцы были стабилизированы. Образцы, по-

© Лирова Б. И., Лютикова Е. А., Русинова Е. В., Сафонюк Н. Р., 2010

лученные методом вальцевания на лабораторных вальцах при температуре 140 °С в течение 10 мин, были предоставлены ОАО “Стройпластполимер” г. Екатеринбурга и моделировали состав кровельного материала, выпускаемого предприятием.

Массопотери образцов в воздушной среде определяли в изотермических условиях при 90 °С методом гравиметрии. Качественный состав веществ, выделяющихся из ПВХ-композиций, и кинетику их выделения изучали по разработанной нами методике на базе метода ИК-спектроскопии с использованием термовакуумной камеры (ТВК) [9, 10]. ИК-спектры записывали на спектрометре Specord 75-IR в области 4000–400 см⁻¹. Оценку химического состава поверхности пластифицированных ПВХ-композиций осуществляли на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 6700 фирмы Thermo Scientific с приставкой однократного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), с использованием алмазного кристалла.

Деформационные кривые получали на разрывной машине РТ-250М2. Скорость растяжения составляла 25 мм/мин. Образцы вырубали в виде лопаток с шириной рабочего участка 6,5 мм. Определение проводили в двух параллелях и брали среднее значение.

Напряжение в образцах рассчитывали по формуле

$$\sigma = P/S, \quad (1)$$

где σ — напряжение, МПа;

P — усилие, кН;

S — поперечное сечение рабочей части образца, м².

Для характеристики образцов использовали разрывное напряжение σ_p и условный модуль упругости при растяжении E , характеризующий жесткость материала. Величину E рассчитывали по начально-му участку деформационной кривой по формуле

$$E = \sigma/\varepsilon, \quad (2)$$

где ε — деформация.

Горючность полимерных композиций оценивали методом огневой трубы [11]. Определяли время самостоятельного пламенного горения и тления образца, а также потери массы образца Δm (% масс.) по формуле

$$\Delta m = [(m_k - m_0)/m_0] 100, \quad (3)$$

где m_0 — первоначальная масса образца, г;

m_k — масса образца после горения, г.

Определение проводили в трех параллелях и брали среднее значение.

На рис. 1 представлены зависимости относительной потери массы ПВХ-композициями от времени при температуре 90 °С и атмосферном давлении. ИК-спектры веществ, выделяющихся из ПВХ-ком-

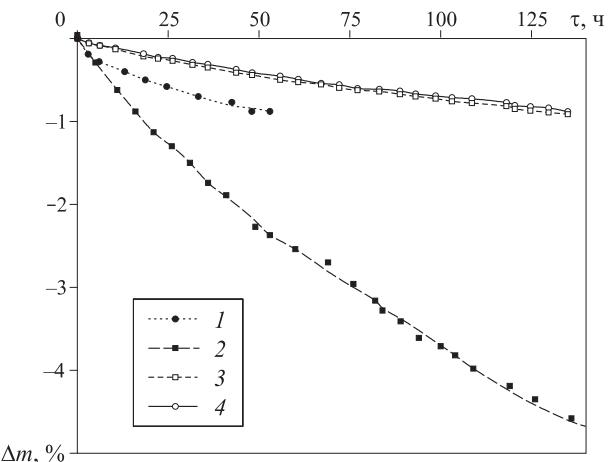


Рис. 1. Зависимость потери массы от времени при 90 °С и атмосферном давлении для ПВХ-композиций, пластифицированных ДОФ (1), ДОФ – ТХЭФ (2), ДОФ – ФП (3), ДОФ – ТКФ (4)

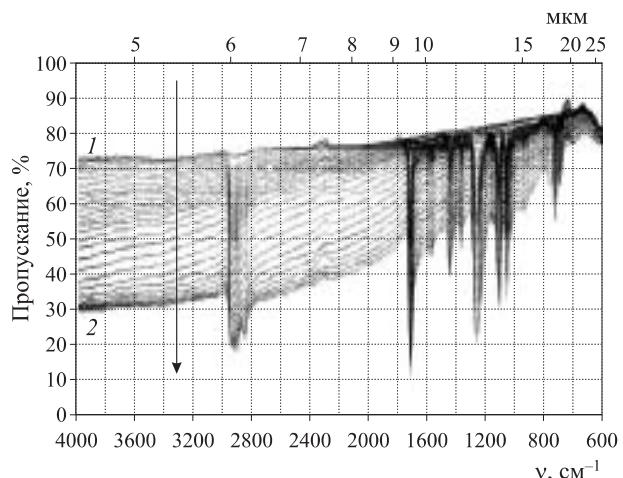


Рис. 2. ИК-спектры веществ, выделяющихся из ПВХ-композиции, пластифицированной ДОФ, при 90 °С и динамическом воздействии вакуума. Время от начала опыта: 1 — 0 мин; 2 — 600 мин

позиций в воздушную среду, свидетельствуют о том, что из всех образцов выделяются пластификаторы, входящие в их состав. Потери массы образца, содержащего ДОФ, составляют около 1 %. Количество выделяющихся веществ ниже для композиций, содержащих смеси ДОФ – ФП и ДОФ – ТКФ, и значительно выше для образцов, пластифицированных смесью ДОФ – ТХЭФ. Поэтому дальнейшие исследования проводили для образцов, пластифицированных ДОФ и его смесями с ФП и ТКФ.

Миграция пластификаторов из ПВХ-композиций была также изучена методом ИК-спектроскопии при 90 °С в условиях их принудительного удаления с поверхности. Для этого были проведены опыты в ТВК при динамическом воздействии вакуума. На рис. 2 приведены ИК-спектры пластификатора, выделяя-

ющегося из ПВХ-композиции, содержащей ДОФ. Из рисунка видно, что во времени наблюдается рост интенсивности полос поглощения за счет увеличения количества выделяющегося пластификатора. Аналогичные данные получены и для образцов, содержащих смеси ДОФ – ФП и ДОФ – ТКФ.

Спектроскопические данные по кинетике выделения пластификаторов представляли в виде зависимостей оптической плотности A_τ одной из полос поглощения пластификатора ($\sim 1460 \text{ см}^{-1}$) от времени. Полоса поглощения $\sim 1460 \text{ см}^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям С–Н–связей [12] и является общей для всех изученных пластификаторов. Для одной из композиций эта зависимость приведена на рис. 3, а.

Далее спектральные данные представляли в координатах преобразованного уравнения Фика [13] (рис. 3, б):

$$A_\tau / A_\infty = (4/l)(D\tau/\pi)^{1/2}, \quad (4)$$

где A_τ — оптическая плотность полосы поглощения в заданный момент времени τ , соответствующая количеству выделившегося пластификатора;

A_∞ — оптическая плотность полосы поглощения, соответствующая начальному содержанию пластификатора в композиции;

l — толщина образца;

τ — время с момента начала опыта;

D — эффективный коэффициент диффузии [14].

Оптические плотности находили из спектров с учетом базовой линии [15].

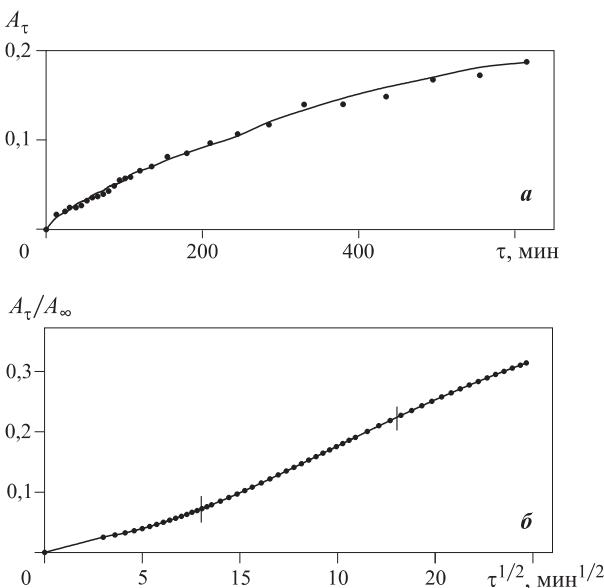


Рис. 3. Зависимость оптической плотности полосы поглощения $\sim 1460 \text{ см}^{-1}$ пластификатора ДОФ, выделяющегося из ПВХ-композиции, пластифицированной ДОФ, от времени (а) и ее относительной оптической плотности в координатах уравнения (4) (б)

Значение A_∞ рассчитывали по формуле

$$A_\infty = A_k m_0 / \Delta m_k, \quad (5)$$

где A_k — оптическая плотность полосы поглощения в конце опыта;

m_0 — начальное содержание пластификатора в образце, г;

Δm_k — потеря массы образца в конце опыта, принятая равной количеству выделившегося пластификатора, г.

Для всех образцов после установления температуры в ТВК на начальных стадиях десорбции наблюдалась прямолинейные участки кривых в координатах A_τ / A_∞ от $\tau^{1/2}$, что свидетельствует о том, что миграция пластификаторов на этих участках определяется их диффузией в полимерной матрице, и позволяет рассчитать значения коэффициентов диффузии пластификаторов D (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что в ПВХ-образцах, содержащих смеси ДОФ с ФП или ТКФ, наблюдается уменьшение коэффициента диффузии по сравнению с образцом, содержащим ДОФ. О том, что потери пластификаторов лимитируются их диффузией в образце, а не их летучестью, свидетельствуют также рассчитанные значения летучести в индивидуальных пластификаторах при 90°C и атмосферном давлении за 10 ч: летучесть ФП и ТКФ соответственно примерно в 2 и 3 раза выше, чем ДОФ.

Установленный механизм миграции пластификаторов подтверждается также количественной оценкой содержания пластификаторов на поверхности ПВХ-образцов. На рис. 4 приведены спектры поверхности ПВХ-композиции, пластифицированной смесью ДОФ – ФП, до и после опытов в ТВК. В спектрах наряду с полосами поглощения, соответствующими ПВХ, присутствуют полосы поглощения пластификаторов ДОФ и ФП. Аналогичные данные получены для ПВХ-образца, содержащего ДОФ – ТКФ. Определение содержания пластификаторов на поверхности образцов проводили по полосам поглощения валентных колебаний в C=O-связях ДОФ ($\sim 1720 \text{ см}^{-1}$) [12] и в P=O-связях ФП ($\sim 1010 \text{ см}^{-1}$) и ТКФ ($\sim 1019 \text{ см}^{-1}$) [16]. Аналогичные данные получены для ПВХ-образца, содержащего ДОФ – ТКФ. Определение содержания пластификаторов на поверхности образцов проводили по полосам поглощения валентных колебаний в C=O-связях

Таблица 1. Значения D пластификаторов в ПВХ-композициях

Пластификатор	$D \cdot 10^{12}, \text{м}^2/\text{с}$
ДОФ	0,6
ДОФ – ФП	0,3
ДОФ – ТКФ	0,2

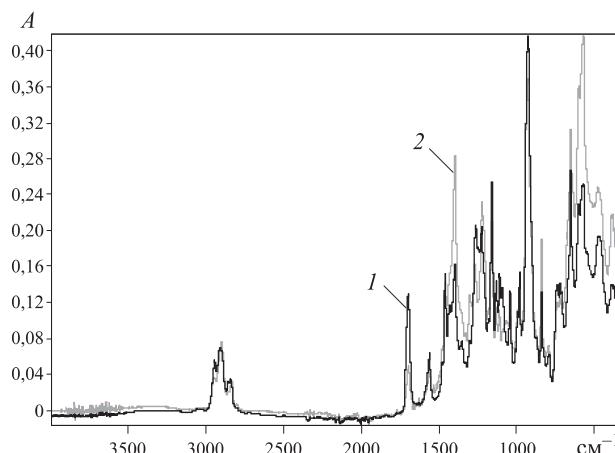


Рис. 4. ИК-спектры поверхности ПВХ-композиций, пластифицированной ДОФ–ФП, до (1) и после (2) опыта в ТВК

зей ДОФ ($\sim 1720 \text{ см}^{-1}$) [12] и $\nu \text{ P=O}$ -связей ФП ($\sim 1010 \text{ см}^{-1}$) и ТКФ ($\sim 1019 \text{ см}^{-1}$) [16]. В табл. 2 приведены отношения оптических плотностей A полос поглощения пластификаторов к полосе поглощения валентных колебаний $\nu \text{ C-Cl}$ -связей ПВХ ($\sim 605 \text{ см}^{-1}$).

Из табл. 2 видно, что в поверхностном слое произошло уменьшение содержания пластификаторов.

Одной из причин наблюдаемого различия в коэффициентах диффузии пластификаторов (см. табл. 1), наряду со стерическими факторами, может быть различие во взаимодействии полимера с пластификаторами. Между пластификаторами и ПВХ, как свидетельствуют ЯМР- и ИК-спектроскопические данные, образуются Н-связи с участием C=O -групп ДОФ и P=O -групп ФП и ТКФ, с одной стороны, и CHCl -группами полимера — с другой [10, 17]. В системе ПВХ – ДОФ возможно также образование электронно-донорно-акцепторных связей между π -электронами бензольного кольца ДОФ и свободными 3d-орбиталями атома Cl макромолекул ПВХ. Большее количество бензольных колец в молекулах ФП и ТКФ по сравнению с ДОФ, возможно, обуславливает их большее суммарное взаимодействие с полимером, что, по-видимому, и приводит к понижению коэффициента диффузии смесей пластификаторов ДОФ – ФП и ДОФ – ТКФ по сравнению с индивидуальным ДОФ. Отсутствие бензольных колец в молекуле ТХЭФ ослабляет его энергетическое

Таблица 2. Отношение оптических плотностей полос поглощения пластификаторов и ПВХ в ИК-спектрах до и после опытов в ТВК

Образец	Пластификатор	$A_{\text{C=O}}/A_{\text{C-Cl}}$	$A_{\text{P=O}}/A_{\text{C-Cl}}$
До опыта	ДОФ – ФП	0,82	0,60
После опыта	ДОФ – ФП	0,17	0,17
До опыта	ДОФ – ТКФ	0,87	0,57
После опыта	ДОФ – ТКФ	0,16	0,16

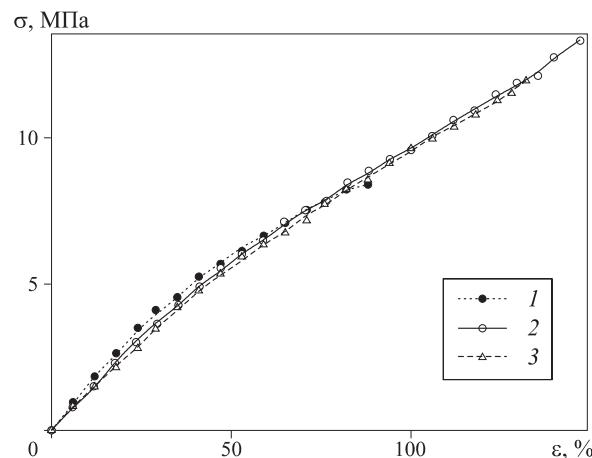


Рис. 5. Деформационные кривые ПВХ-композиций, пластифицированных ДОФ (1), ДОФ–ФП (2) и ДОФ–ТКФ (3)

взаимодействие с ПВХ [18], что обуславливает значительную миграцию ТХЭФ из образцов (см. рис. 1) по сравнению с другими пластификаторами.

Использование в составе ПВХ-композиций фосфатных пластификаторов ФП и ТКФ улучшает их физико-механические свойства. Деформационные кривые для ПВХ-композиций приведены на рис. 5, а в табл. 3 представлены значения разрывного напряжения σ_p , относительного удлинения при разрыве ε_p и условного модуля упругости E при растяжении. Для образцов, содержащих смеси ДОФ – ФП или ДОФ – ТКФ, наблюдается повышение прочности и относительного удлинения при разрыве; при этом жесткость полимерного материала не изменяется.

Введение фосфатных пластификаторов в состав ПВХ-образцов приводит к значительному понижению горючести полимерного материала (табл. 4).

Известно [19], что фосфорсодержащие соединения относятся к основным замедлителям горения. Соединения фосфора высшей степени валентности ингибируют каталитические реакции термоокисления полимера в зоне пиролиза и поверхностной

Таблица 3. Деформационно-прочностные характеристики ПВХ-композиций

Пластификатор	$\sigma_p, \text{ МПа}$	$E, \text{ МПа}$	$\varepsilon_p, \%$
ДОФ	8,4	14,6	88
ДОФ – ФП	13,3	14,1	147
ДОФ – ТКФ	12,0	11,6	132

Таблица 4. Горючесть пластифицированных ПВХ-композиций

Пластификатор	$\Delta m, \%$	$\tau_{\text{пл}}, \text{ с}$
ДОФ	46,9	3
ДОФ – ФП	4,3	–
ДОФ – ТКФ	3,6	–

зоне. Кроме того, распад фосфорсодержащих замедлителей горения происходит обычно с образованием фрагментов PO_4 , что способствует коксированию материала, затруднению диффузии молекул окислителя в зону окисления полимерного материала и в результате приводит к прекращению горения. Из таблицы видно, что ПВХ-композиция, пластифицированная индивидуальным ДОФ, является горючим материалом: ее массопотери после испытания в пламени превышают 20 % [11], в то время как для образцов, содержащих смеси ДОФ с ФП или ТКФ, значения массопотерь ниже более чем в 10 раз. При этом обнаружено, что использование ТКФ вместо ФП в составе ПВХ-образцов одновременно снижает количество образующегося при горении дыма. Однако при этом необходимо учитывать значения ПДК

изученных фосфатных пластификаторов ($\text{ПДК}_{\text{ФП}} = 0,05 \text{ мг}/\text{м}^3$ [8], $\text{ПДК}_{\text{ТКФ}} = 0,01 \text{ мг}/\text{м}^3$ [7]), а также возможное токсическое действие ТКФ [20].

Выводы

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемый в работе подход, основанный на установлении взаимосвязи между диффузионными характеристиками пластификаторов, межмолекулярным взаимодействием компонентов в системе и огнестойкостью полимерных композиционных материалов, позволяет осуществить правильный выбор антиприпана с точки зрения его химического строения и обеспечить стабильность целевых свойств пластифицированных ПВХ-композиций строительного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Штаркман Б. П.** Пластификация поливинилхлорида. — М. : Химия, 1975.
- Асеева Р. М., Заиков Г. Е.** Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981.
- Берлин Ал. Ал.** Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. — 1996. — № 9. — С. 57–63.
- Штаркман Б. П.** Основы разработки термопластических полимерных материалов. — Н. Новгород : Нижегородский гуманитарный центр, 2004.
- Плотникова Г. В., Егоров А. Н., Халиуллин А. К.** и др. Исследование огнестойкости поливинилхлоридных пластизолей с фосфорсодержащими добавками // Пластические массы. — 2002. — № 11. — С. 25–29.
- ГОСТ 8728–88.** Пластификаторы. Технические условия. — Введ. 1990–01–01. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003.
- ГОСТ 5728–76.** Трикрезилфосфат технический. Технические условия. — Введ. 1977–01–01. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998.
- ТУ 6-06-241-92. Пластификаторы фосфатные. — Введ. 1992–01–07. — М., 1991.
- Лирова Б. И., Лютикова Е. А., Мельник А. И.** и др. ИК-спектроскопическое изучение миграции пластификатора из композиций на основе поливинилхлорида // Высокомолекулярные соединения. — 2002. — Т. 44Б, № 2. — С. 363–368.
- Лирова Б. И., Лютикова Е. А., Дегтярева А. Н.** и др. Влияние природы пластификаторов на свойства пленочного материала на основе поливинилхлорида // Журнал прикладной химии. — 2004. — Т. 77, № 10. — С. 1707–1713.
- ГОСТ 12.1.044–89** (ИСО 4589–84). Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 1991–01–01. — М. : Стандартинформ, 2006.
- Беллами Л.** Инфракрасные спектры сложных молекул : пер. с англ. — М. : Ин. лит., 1963.
- Роджерс К.** Проблемы физики и химии твердого состояния органических соединений : пер. с англ. — М. : Мир, 1968.
- Чалых А. Е.** Диффузия в полимерных системах. — М. : Химия, 1987.
- Смит А.** Прикладная ИК-спектроскопия. — М. : Мир, 1982.
- Шагидуллин Р. Р., Чернова А. В., Виноградова В. С.** Атлас ИК-спектров фосфорорганических соединений. — М. : Наука, 1984.
- Baijayantimala G., Swaminathan S.** Study of Polymer-Plasticizer Interaction by ^{13}C CP/MAS NMR Spectroscopy: Poly(vinylchloride)-bis(2-ethylhexyl)phthalate System // Macromolecules. — 1996. — Vol. 29, No. 1. — P. 185–190.
- Тиниус К.** Пластификаторы. — М. : Химия, 1964.
- Кодолов В. И.** Замедлители горения полимерных материалов. — М. : Химия, 1980.
- Шефтель В. О.** Вредные вещества в пластмассах. — М. : Химия, 1991.

Материал поступил в редакцию 10 февраля 2010 г.

Электронные адреса авторов: bella.lirova@usu.ru, elena.ljutikova@usu.ru, elena.rusinova@usu.ru.

Научно-производственное объединение “НОРТ”
 426033, г. Ижевск, а/я 2022; тел./факс: (3412) 40-45-33, 64-70-10
 e-mail: inform@nort-udm.ru; http://www.nort-udm.ru
Представительство в г. Москве: ООО “Анта”
 тел.: (495) 570-63-55, 747-16-88, 570-52-83
 e-mail: anta-bvv@mail.ru; http:// www.homesaver.ru



УДК 614.841

СОВРЕМЕННЫЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СООТВЕТСТВИЕ “ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГЛАМЕНТУ О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ”

Акцентировано внимание на проблеме нехватки декоративно-отделочных материалов, соответствующих “Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности”. Предложены пути снижения пожарной опасности строительных материалов с помощью огнезащитной продукции НПО “НОРТ”. Раскрыты механизмы действия огнезащитных составов НПО “НОРТ” и технология, применяемая в деревянных противопожарных дверях “НОРТПОСТ®”.

Ключевые слова: огнезащитный состав, огнезащита древесины, пропитки, покрытия, лаки, краски, класс пожарной опасности, строительные и отделочные материалы.

С 1 мая 2009 г. вступил в силу Федеральный закон № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — Технический регламент) [1]. Данный закон ужесточил требования по пожарной безопасности к строительным материалам, применяемым на объектах с массовым пребыванием людей. В связи с этим специалисты проектных и строительных организаций столкнулись с проблемой подбора декоративно-отделочных материалов, отвечающих новым требованиям пожарной безопасности и вписывающихся при этом в современный интерьер.

В соответствии с требованиями Технического регламента в местах с массовым скоплением людей должны использоваться строительные и декоративно-отделочные материалы, соответствующие классам пожарной опасности КМ1–КМ2.

Практически все строительные и отделочные материалы из природных и синтетических полимеров пожароопасны и без специальной противопожарной обработки не соответствуют вышеназванным классам. Одним из кардинальных путей снижения пожарной опасности строительных и отделочных материалов из древесины и синтетических полимеров является их обработка специальными огнезащитными составами — огнезащитными пропитками, покрытиями, лаками, красками и т. д.

Выбор подходящего огнезащитного средства на сегодняшний день труднорешаемая задача. Краткий сравнительный анализ известных огнезащитных составов свидетельствует о неспособности большинства из них обеспечить снижение пожароопас-

ности строительных и отделочных материалов до классов КМ1 и КМ2 [2–6]. Например, основная часть представленных на рынке огнезащитных составов для древесины имеет “солевую” природу, т. е. они являются водными растворами солей некоторых минеральных кислот. Для таких составов характерна не только невысокая огнезащитная эффективность, но и легкая вымываемость из обработанного материала. В рамках новых, повышенных требований Технического регламента “недееспособные” солевые антиприны бесперспективны.

Огнезащита строительных материалов, направленная на достижение требуемых Техническим регламентом норм пожарной безопасности, не должна ухудшать ни потребительские характеристики обработанного строительного материала, ни его экологическую безопасность. Большинство декларируемых производителями свойств составов не подтверждается документально. А такие показатели, как токсичность самого антиприна, его коррозионная активность, ухудшение прочностных характеристик строительного материала после его обработки огнезащитным составом, и вовсе не исследуются многими производителями.

При разработке того или иного огнезащитного средства необходим *системный комплексный подход* к решению поставленных задач, предварительная научная и опытно-конструкторская проработка с оценкой всех реально возможных сценариев внедрения нового компонента в пожарозащищаемый строительный материал. Именно этим принципом НПО “НОРТ” и руководствуется в своей работе.

Огнезащитная продукция НПО “НОРТ”

Научно-производственное объединение “НОРТ” (г. Ижевск) производит по собственным ноу-хау технологиям огнезащитные материалы и деревянные противопожарные двери, которые соответствуют ужесточенным требованиям Технического регламента и обладают высокими декоративными свойствами. Предлагаемый НПО “НОРТ” ассортимент огнезащитной продукции дает возможность найти оптимальное решение по снижению пожарной опасности практических строительных материалов (древесины, ламинированных панелей, тканей, ковровых покрытий) с целью приведения их в соответствие с новыми требованиями.

Благодаря инновационным технологиям огнезащиты НПО “НОРТ” решены проблемы пожарной безопасности на многих социально значимых объектах, а также на объектах мирового культурного наследия: например, в Москве это ГМЗ “Царицыно”, резиденция царя Алексея Михайловича в ГМЗ “Коломенское”, Большой театр, а также Московский метрополитен, где установлены противопожарные двери.

Соответствие продукции НПО “НОРТ” требованиям Технического регламента и возможности ее применения на строительных объектах рассмотрены в таблице. Все заявленные свойства продукции подтверждены испытаниями и заключениями независимых лабораторий.

Принцип снижения пожарной опасности строительных материалов и механизм действия огнезащитных составов НПО “НОРТ”

Глубокое понимание механизмов действия антиприренов и многолетняя исследовательская работа (более 16 лет) позволили НПО “НОРТ” создать технологии огнезащиты, которые идут в ногу со временем и предлагают решения, соответствующие ужесточенным требованиям пожарной безопасности. Например, создана технология поверхностного химического модифицирования древесины, реализованная в несолевых биопиренах[®] (термин запатентован НПО “НОРТ”) — антиприренах-антисептиках серии “Пирилакс[®]”. Благодаря этой технологии пропитки “Пирилакс” позволяют получить показатели пожарной опасности древесины Г1, В1, Д2, Т2, РП1, что соответствует классу пожарной опасности КМ2. Подобные показатели недоступны огнезащитным пропиткам других производителей. При этом все компоненты пропитки “Пирилакс” безопасны, нетоксичны и бiorазлагаемы в окружающей среде.

В отличие от традиционных солевых составов биопирены “Пирилакс” содержат вещества, родст-

венные по химическому составу древесине, которые проникают в древесину на 2–3 мм и реагируют с функциональными полиольными фрагментами целлюлозы. Происходит этерификация концевых остатков глюкозных звеньев целлюлозы. Химическое связывание фосфорсодержащих органических компонентов антиприrena за счет реакции фосфорилирования целлюлозы обеспечивает прочную фиксацию “антиприренного заряда” с полимером, продленивая сохранность огнезащитной эффективности более чем на 15 лет.

Биопирен “Пирилакс” представляет собой многокомпонентную полифункциональную систему, каждая отдельная составляющая которой выполняет свою специфическую функцию как в процессе нанесения и последующей химической фиксации в древесине, так и в момент теплового воздействия на него при пожаре. В зависимости от температурных уровней прогрева поверхностных слоев древесины последовательно срабатывают механизмы образования карбонизированного слоя, изменения кинетики термораспада и стехиометрического соотношения продуктов термолиза в благоприятную сторону повышения огнезащитного эффекта.

Огнезащита широко используемых ламинированных панелей реализована за счет огнебиозащитного лака “Нортекс[®]-Лак-Огнезащита”, который переводит ДСП, ЛДСП, ЛДВП, ЛМДФ в класс пожарной опасности КМ2. “Нортекс-Лак-Огнезащита” образует на поверхности ламинированной панели пленку. Под воздействием огня компоненты, находящиеся в лаке (потенциальные карбонизаторы), взаимодействуют друг с другом с образованием пенококсового слоя и инертных газов.

В основе принципа снижения горючести тканей и ковровых покрытий лежит использование технологии химически родственных разным видам тканей веществ. Данная технология реализована в серии составов “Нортекс[®]”: например, компоненты огнебиозащитной пропитки “Нортекс-Х” для хлопчатобумажных и льняных тканей родственны целлюлозе. Благодаря этому антиприреночно фиксируется на поверхности волокон, и в ходе огневого воздействия происходит образование пенококса и негорючих газов. Механизм действия огнебиозащитного состава для синтетических тканей “Нортекс-С” имеет некоторые отличия. Под воздействием огня синтетические ткани склонны не к карбонизации, а к плавлению с последующей термодеструкцией, сопровождаемой в обычных условиях выделением горючих газов. Активные компоненты состава “Нортекс-С” изменяют механизм термодеструкции синтетических волокон в сторону образования негорючих газов.

Некоторые области применения продукции НПО “НОРТ” в соответствии с требованиями Технического регламента

Область применения декоративно-отделочных и текстильных материалов	Требования Технического регламента [1]	Решение (продукция НПО “НОРТ”)
Декоративно-отделочные материалы для стен и потолков на путях эвакуации (таблица 28 [1])		
Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы всех классов функциональной пожарной опасности зданий* высотой не более 28 м или не более 9 этажей	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ2	Огнебиозащитный состав “Пиролакс” — класс пожарной опасности древесины КМ2.
Общие коридоры, холлы, фойе всех классов функциональной пожарной опасности зданий* высотой не более 28 м или не более 9 этажей	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ3	Огнебиозащитный лак “Нортекс-Лак-Огнезащита” — класс пожарной опасности ДСП, ЛДСП, ЛДВП, ЛМДФ КМ2.
Общие коридоры, холлы, фойе всех классов функциональной пожарной опасности зданий* высотой более 28, но не более 50 м или более 9, но не более 17 этажей	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ2	Пожаробезопасная “Нортовская краска интерьерная” — класс пожарной опасности покрытия КМ1
Общие коридоры, холлы, фойе всех классов функциональной пожарной опасности зданий* высотой более 50 м или более 17 этажей	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ1	Пожаробезопасная “Нортовская краска интерьерная” — класс пожарной опасности покрытия КМ1
Общие коридоры, холлы, фойе детских садов, домов престарелых, больниц, школ-интернатов; кинотеатров, спортивных сооружений и т. д. с расчетным количеством мест; вокзалов, поликлиник, предприятий бытового обслуживания; школ, ПТУ (вне зависимости от этажности и высоты)		
Декоративно-отделочные материалы для стен и потолков зальных помещений (таблица 29 [1])		
Зальные помещения всех классов функциональной пожарной опасности зданий* вместимостью до 300 человек	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ2	Огнебиозащитный состав “Пиролакс” — класс пожарной опасности древесины КМ2.
Зальные помещения детских садов, домов престарелых, больниц, школ-интернатов, кинотеатров, спортивных сооружений, вокзалов, поликлиник, предприятий бытового обслуживания, школ, ПТУ вместимостью не более 15 человек	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ3	Огнебиозащитный лак “Нортекс-Лак-Огнезащита” — класс пожарной опасности ДСП, ЛДСП, ЛДВП, ЛМДФ КМ2. Пожаробезопасная “Нортовская краска интерьерная” — класс пожарной опасности покрытия КМ1
Зальные помещения всех классов функциональной пожарной опасности зданий* вместимостью более 300, но не более 800 человек	Материалы с классом пожарной опасности не более КМ1	Пожаробезопасная “Нортовская краска интерьерная” — класс пожарной опасности покрытия КМ1
Зальные помещения детских садов, домов престарелых, больниц, школ-интернатов, кинотеатров, спортивных сооружений, вокзалов, поликлиник, предприятий бытового обслуживания, школ, ПТУ вместимостью более 15, но не более 300 человек		
Текстильные материалы (статья 135, таблица 30 [1])		
Шторы и занавесы	Нормируемые показатели пожарной опасности: воспламеняемость, коэффициент дымообразования, токсичность продуктов горения	Огнебиозащитные пропитки для тканей “Нортекс” — для получения трудновоспламеняемых тканей с умеренной дымообразующей способностью (Д2) и умеренной токсичностью продуктов горения (Т2). Ткани после обработки не относятся к легковоспламеняющимся
Постельные принадлежности	Нормируемый показатель: воспламеняемость	

Продолжение таблицы

Область применения декоративно-отделочных и текстильных материалов	Требования Технического регламента [1]	Решение (продукция НПО “НОРТ”)
Ковровые покрытия на путях эвакуации и в зальных помещениях (таблицы 28, 29 [1])		
Общие коридоры, холлы, фойе всех классов функциональной пожарной опасности зданий	Материалы с классом пожарной опасности КМ2–КМ4	Огнебиозащитная пропитка для ковровых покрытий “Нортекс-КП” — класс пожарной опасности КМ2
Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы всех классов функциональной пожарной опасности зданий* высотой не более 50 м или не более 17 этажей		
Зальных помещениях всех классов функциональной пожарной опасности зданий		
Деревянные противопожарные двери (таблицы 23, 24 [1])		
Заполнение проемов в противопожарных стенах 1-го типа	Предел огнестойкости EI 60	Двери противопожарные “НОРТ-ПОСТ” ДПД EI 60 однопольные или двупольные
Заполнение проемов в противопожарных стенах 2-го типа и противопожарных преградах 1-го типа	Предел огнестойкости EI 30	Двери противопожарные “НОРТ-ПОСТ” ДПД EI 30 без порога однопольные или двупольные. Двери противопожарные “НОРТ-ПОСТ” ДПД EIS 30 однопольные или двупольные

* Кроме детских садов, домов престарелых, больниц, школ-интернатов, кинотеатров, спортсодержаний, вокзалов, поликлиник, предприятий бытового обслуживания, школ, ПТУ.

Для окрашивания бетонных, каменных, кирпичных поверхностей НПО “НОРТ” производит водно-дисперсионную “Нортовскую® краску интерьерную”. Помимо высоких декоративных свойств, которые достигаются за счет получения тонкой дисперсии, краска образует покрытие с классом пожарной опасности КМ1.

Разработки в области огнезащитных составов привели к созданию уникальной продукции — деревянных противопожарных дверей “НОРТПОСТ®”, с пределами огнестойкости и дымогазонепроницаемости, равными 30 и 60 мин.

В дверях “НОРТПОСТ” применяется материал, обработанный по технологии “Гранит” (разработана НПО “НОРТ”). Это технология “ноу-хау” газового импрегнирования древесины микроструктурирующими составами. Суть технологии в том, что между молекулами целлюлозы и лигнина создается нанокластер из огнезащитного состава. Технологию “Гранит” можно отнести кnanoхимическому синтезу — физико-химическому процессу, с помощью которого достигается получение наноразмерных структур. В технологии “Гранит” в качестве наноконтейнеров выступают клеточные структуры древесины очень сложной конфигурации и геомет-

рии. Антиприены, применяемые в рецептуре пропиточных составов, способны беспрепятственно проникать в полости древесных клеток. При дальнейшей обработке компоненты пропиточного раствора медленно кристаллизуются внутри наноконтейнеров, т. е. в полостях клеток. Процесс кристаллизации идет пространственно упорядоченно — от клеточных стенок целлюлозных волокон к центру. Одновременно с этим протекает реакция этерификации, результатом которой является фиксация микрокристаллов в клетках целлюлозы.

Таким образом, существует проблема нехватки декоративно-отделочных материалов, соответствующих “Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности”. Большинство огнезащитных пропиток для древесины, изготавливаемых на “солевой” основе, не способны снизить пожарную опасность строительных и отделочных материалов до требуемого класса. Предлагаемый НПО “НОРТ” ассортимент огнезащитной продукции дает возможность найти оптимальное решение по снижению классов пожарной опасности практических всех строительных материалов с целью приведения их в соответствие с новыми требованиями.

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. Трушкин А. В., Корольченко О. Н., Бельцова Т. Г. Горючесть древесины, обработанной огнезащитными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 1. — С. 29–33.
3. Антонов А. В., Решетников И. С., Халтуринский Н. А. Горение коксообразующих полимерных систем // Успехи химии. — 1999. — Т. 7, № 68. — С. 653–673.4.
- Гусев А. И., Пазникова С. Н., Кожевникова Н. С. Повышение огнестойкости строительных деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 3. — С. 30–35.
5. Покровская Е. Н., Недомивин Ю. Н., Никифорова Т. П. Фосфорсодержащие антипириены и механизм их действия // Теоретические и практические аспекты защиты древесных материалов. — Рига, 1985. — С. 118–121.
6. Зубкова Н. С., Антонов Ю. С. Снижение горючести текстильных материалов — решение экологических и социально-экономических проблем // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. общества им. Д. И. Менделеева). — 2002. — Т. XLVI, № 1. — С. 96–102.

Материал поступил в редакцию 22 марта 2010 г.



«ПОЖНАУКА»

Представляем новую книгу



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

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

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

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

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



В. П. Сучков
д-р техн. наук, доцент,
профессор кафедры
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



С. А. Швырков
канд. техн. наук, доцент,
начальник кафедры
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



Р. Ш. Хабибулин
старший преподаватель
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



Д. Н. Рубцов
преподаватель
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



Я. И. Юрьев
инженер,
Академия ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.841

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Обосновывается необходимость в развитии научного направления, связанного с обеспечением противопожарной защиты технологических систем объектов нефтегазовой отрасли. Это направление базируется на изучении огнестойкости технологических систем.

Ключевые слова: огнестойкость, технологические системы, устойчивость, тепловое воздействие.

Одним из важнейших вопросов обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли является изучение поведения технологических систем в условиях пожара.

Огнестойкостью технологической системы называется ее способность сохранять свою конструктивную целостность и (или) функциональное назначение при воздействии опасных факторов пожара (пламени, теплового потока).

Описание огнестойкости технологической системы в экстремальных условиях пожара базируется на решении двух самостоятельных задач:

- внешней, связанной с изучением закономерностей распределения теплового потока при пожаре на соседние объекты;
- внутренней, связанной с изучением процессов тепло- и массообмена, происходящих в технологической системе при воздействии на нее теплового потока в условиях пожара.

Для противопожарной защиты технологической системы необходимо обеспечить требуемую огнестойкость для того или иного ее элемента. Поэтому исследование последней как необходимого условия обеспечения противопожарной защиты технологической системы в целом целесообразно рассматривать как актуальное научное направление.

В изучении внешней задачи следует подчеркнуть вклад русской научной школы в познание процесса пожара в резервуарных парках. Первые отечественные работы в области огнестойкости системы ре-

зервуар – нефтепродукт, связанные с нормированием минимально допустимых расстояний между объектами, выполнены в начале 70-х годов Б. В. Грушевским и А-Х. С. Измаиловым [1]. Натурные экспериментальные исследования на полигонах городов Ярославль и Баку позволили им установить термические и геометрические характеристики пламени пожара, а также закономерности нагрева дыхательного клапана резервуара при воздействии теплового излучения.

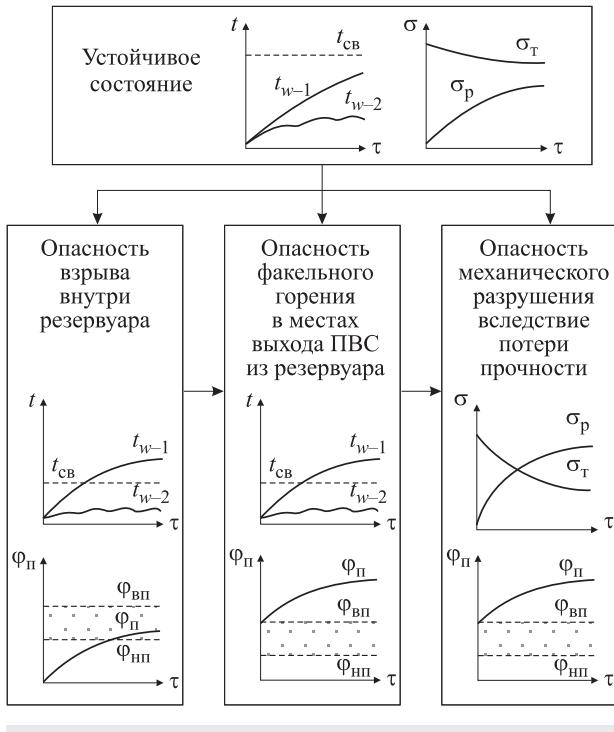
Следует также отметить результаты исследований Э. Д. Роева и Я. Решетара, выполненных под руководством профессора Академии МЧС России Ю. А. Кошмарова, по составлению описания теплового воздействия в условиях пожара при непосредственном омывании пламенем технологического оборудования [2].

В результате теоретических и экспериментальных исследований на кафедре пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС РФ впервые разработан алгоритм моделирования огнестойкости системы резервуар – нефтепродукт [3].

Основные положения огнестойкости системы резервуар – нефтепродукт к воздействию теплового излучения от горящего рядом резервуара представлены на рисунке.

Устойчивое состояние системы характеризуется выполнением следующих двух условий:

- а) локальная текущая температура стенки t_w , ограничивающая газовое пространство, не дости-



Изменение внутренних параметров системы *резервуар – нефтепродукт* при воздействии тепла пожара

гает опасного значения, равного температуре самовоспламенения паров нефтепродукта t_{cb} , т. е.

$$t_w(x, y, z, \tau) < t_{cb}; \quad (1)$$

б) локальные рабочие напряжения σ_p , возникающие в элементах оболочки резервуара под действием избыточного давления паров внутри резервуара, не достигают предела текучести σ_t , т. е.

$$\sigma_p(x, y, z, \tau) \leq \sigma_t(\tau). \quad (2)$$

Опасность взрыва внутри резервуара количественно характеризуется следующими двумя условиями:

а) среднеобъемная концентрация паров нефтепродукта (СКПН) φ_n внутри резервуара входит в область взрывоопасных значений:

$$\varphi_n \in [\varphi_{np}; \varphi_{vp}]; \quad (3)$$

б) локальная текущая температура стенки t_w достигает или превышает опасное значение, равное температуре самовоспламенения паров t_{cb} , т. е.

$$t_w(x, y, z, \tau) \geq t_{cb}. \quad (4)$$

Следует отметить, что процесс выравнивания концентраций протекает более быстро по сравнению с процессом перераспределения температуры в оболочки конструкции.

Опасность факельного горения паров, выходящих из дыхательного клапана резервуара, количественно характеризуется выполнением следующих двух условий:

а) до и в процессе нагрева жидкости СКПН φ_n внутри резервуара превышает ВКПРП (верхний концентрационный предел распространения пламени), т. е.

$$\varphi_n \in [\varphi_{np}; \varphi_s]; \quad (5)$$

б) локальная текущая температура стенки дыхательного клапана t_w достигает или превышает опасное значение, равное температуре самовоспламенения паров t_{cb} , т. е.

$$t_{w-cb}(x, y, z, \tau) \geq t_{cb}. \quad (6)$$

Опасность разрушения конструкции резервуара характеризуется выполнением следующего условия: локальные рабочие напряжения σ_p , возникающие в элементах оболочки резервуара под действием избыточного давления паров внутри резервуара вследствие интенсивного кипения жидкости, превышают предел текучести σ_t , т. е.

$$\sigma_p(x, y, z, t) \leq \sigma_t(t). \quad (7)$$

Аналитически решить сложную задачу нестационарного тепло- и массообмена, происходящего в резервуаре при воздействии на него теплового потока от пульсирующего факела горящего нефтепродукта, практически не представляется возможным. Основным методом решения задачи является экспериментальное исследование и разработка методик численного расчета.

При этом принята следующая концепция решения внутренней задачи:

- разработка в общем виде модели, описывающей критерии огнестойкости системы *резервуар – нефтепродукт*;
- проведение активного эксперимента в целях установления входных параметров модели.

На основе экспериментальных данных и теоретического анализа процессов тепломассообмена при пожаре разработана методика расчета воздействия на объекты защиты лучистых тепловых потоков при пожаре разлива нефтепродуктов, которая базируется на использовании современных средств конечно-элементного моделирования [4].

Применяется такая последовательность численного моделирования:

- построение трехмерной конечно-элементной модели корпуса резервуара в виде горизонтальной цилиндрической оболочки;
- задание параметров модели в виде констант и расчетных зависимостей;
- задание начальных и граничных условий теплообмена;
- задание временных параметров расчета;
- решение полученной модели;
- визуализация и оценка результатов моделирования.

Для определения внутренних граничных условий теплообмена в системе *внутренняя оболочка резервуара – нефтепродукт (паровоздушная смесь)* разработана математическая модель и компьютерная программа [5], основанные на численном решении системы дифференциальных уравнений. Система включает в себя уравнения энергетического баланса в жидкой и паровоздушной фазе, баланса массы жидкости и паровоздушной смеси в резервуаре. При постановке граничных условий теплообмена на внутренней стенке корпуса резервуара при контакте с паровоздушной фазой также учитывается лучистый теплообмен между внутренними поверхностями.

Расчеты на основе разработанной методики позволяют прогнозировать время достижения предельно допустимых температур оболочки горизонтального резервуара в зависимости от времени теплового воздействия и интенсивности падающего теплового потока от очага пожара.

Таким образом, полученные при численном моделировании данные могут использоваться для определения противопожарных расстояний на объектах нефтепродуктообеспечения, принятия обоснованных мер к снижению интенсивности воздействия теплового потока на резервуары с использованием средств противопожарной защиты.

В настоящее время на кафедре пожарной безопасности технологических процессов Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ проводится работа по оценке огнестойкости фланцевых соединений технологических систем с нефтью и нефтепродуктами [6]. Результаты исследований, проведенных ранее сотрудниками кафедры

пожарной безопасности технологических процессов АГПС МЧС России канд. техн. наук О. М. Волковым и инж. В. А. Березиным, показали, что поведение фланцевых соединений в условиях пожара является наиболее “слабым элементом технологической системы”.

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработан метод оценки огнестойкости фланцевых соединений. Проведен численный эксперимент по определению нестационарного температурного поля во фланцевом соединении в условиях пожара. Из результатов эксперимента видно, что фланцевое соединение в условиях пожара ведет себя как единая термодинамическая система.

Выводы

В настоящее время в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России сформировалось новое научное направление “Огнестойкость технологических систем в условиях пожара”. В рамках данного научного направления в настоящее время проводится комплекс исследований, в которых принимают участие ряд соискателей по подготовке кандидатских диссертаций. Основная цель научного направления — создание научных основ противопожарного нормирования огнестойкости технологических систем, основанных на совокупности приемов и операций практического и теоретического моделирования устойчивости их к пожару, с целью установить требования пожарной безопасности для обеспечения эшелонированной защиты с учетом разработки ситуационных вариантов в пределах допустимого риска.

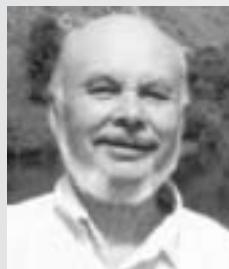
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грушевский Б. В., Измаилов А-Х. С. Термические и геометрические характеристики пламени при горении нефтепродуктов в резервуарах // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья : НТИС. — М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1976.
2. Решетар Я. Исследование граничных условий для расчета огнестойкости строительных и технологических конструкций, омыаемых пламенем при пожаре : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 27 с.
3. Сучков В. П. Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов. — М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1995.
4. Хабибулин Р. Ш. Расчет тепломассообмена в горизонтальном резервуаре с ЛВЖ (ГЖ) при воздействии тепловых потоков пожара : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610213 от 9.01.08. — М. : Роспатент, 2008.
5. Шебеко Ю. Н., Корольченко А. Я. Моделирование пожаров технологических объектов // Моделирование пожаров и взрывов. — М. : Пожнаука, 2000. — С. 198–219.
6. Рубцов Д. Н., Сучков В. П. Модель пожара при разгерметизации фланцевых соединений // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — № 2. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2008.

Материал поступил в редакцию 24 февраля 2010 г.
Электронный адрес авторов: magistr-87@list.ru.

**А. В. Волокитина**

д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесной пирологии Института леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, г. Красноярск, Россия

**М. А. Софонов**

д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесной пирологии Института леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, г. Красноярск, Россия

**М. А. Корец**

канд. техн. наук, зав. лабораторией геоинформационных систем Института леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, г. Красноярск, Россия

УДК 614.841

ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Рассматриваются возможности прогнозирования поведения пожаров растительности (включая лесные), которое может быть использовано для более успешного управления ими. В том числе анализируются существующие математические модели поведения пожаров. Особое внимание обращено на вопросы практического создания информационных баз для математических моделей в виде соответствующих карт. Приводится информация о зарубежных национальных системах прогнозирования поведения природных пожаров (США и Канады), а также о разработке российской системы в Институте леса СО РАН, об опытно-производственной проверке ее элементов.

Ключевые слова: пожары растительности, лесные пожары, поведение пожаров, прогнозирование, математическое моделирование, программирование, информационная база, карты растительных горючих материалов.

Введение

Проблема пожаров растительности, включая лесные пожары, остается острой для многих стран. Количество и площади лесных пожаров в России по данным “Авиалесоохраны” имеют тенденцию к возрастанию, как и во всем мире. Так, в периоды вспышек пожаров их количество достигает 20 тысяч, а пройденная огнем площадь может превышать 2 млн га. Среди общих причин массового возникновения лесных пожаров главной являются сильные засухи, которые как бы “кочуют” по планете. В каждом регионе они повторяются один раз в 5–10 лет и сопровождаются вспышками лесных пожаров. Предвидеть наступление их пока не научились, а сдержать постоянно многочисленную лесопожарную охрану для борьбы с редкими вспышками пожаров слишком накладно. Попытки решить эту проблему путем наращивания технической мощи не увенчались успехом: леса в развитых западных странах горят не меньше, чем в странах Африки или у нас, в Сибири.

Концептуальный подход к решению проблемы пожаров растительности с течением времени меняется. Если раньше все пожары считались исключи-

тельно вредным явлением, с которым надо вести активную борьбу, то в настоящее время, в связи с развитием экологических взглядов на роль огня как периодически действующего природного фактора, ставится задача управления пожарами с учетом их последствий. Термин “управление пожарами” следует рассматривать как в широком, так и в узком плане. В широком плане — это устранение антропогенных причин возникновения пожаров, совершенствование противопожарного обустройства территории, создание благоприятных условий для своевременного обнаружения пожаров и борьбы с ними и т. д. Управление пожарами в узком плане следует понимать как контролирование развития возникающих пожаров на основе прогнозирования их поведения и последствий.

В деле практического управления пожарами растительности важную роль играет прогнозирование их *поведения*, т. е. их распространения, интенсивности, развития и последствий. Такое прогнозирование может использоваться, например: для оценки очередности тушения пожаров при большом их количестве путем выявления потенциально опасных пожаров; для оценки оптимального количества сил

и средств и планирования успешного тушения пожаров; для оценки угрозы населенным пунктам от пожаров; для выбора оптимального времени проведения целевых палов и т. д.

За рубежом, в США и Канаде, уже созданы и совершенствуются национальные системы по прогнозированию поведения природных пожаров: в США — система BEHAVE; в Канаде — система FBP. В России подобная система пока только разрабатывается, причем особенно активно — в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. Настоящая статья посвящена вопросам разработки указанных систем в России и за рубежом.

Анализ проблемы

Участки, покрытые лесом, обычно чередуются с участками нелесными и не покрытыми лесом. Поскольку пожары распространяются по всем (в том числе и нелесным) участкам, то в настоящее время вместо термина *лесные пожары* все чаще стали употреблять более общий термин *природные пожары* (или *пожары растительности*). В США используют термины *wildfire* и *wildland fire*, а не *forest fire*.

Точно так же узкий термин *лесные горючие материалы* (ЛГМ) желательно заменять общим термином *растительные горючие материалы* (РГМ), поскольку на нелесных участках горючие материалы явно не лесные, а болотные, луговые, степные, тундровые и т. п. В США отказались также от термина *forest fuel* и используют общий термин *fuel*.

Прогнозирование поведения природных пожаров осуществляется с помощью **математического моделирования**. Прогнозирование возможно только в том случае, если используемые модели будут обеспечены **информационной базой**. Ее важнейшей частью является пирологическая характеристика (с учетом временной динамики) всех участков растительности на данной территории. Эта характеристика должна содержать те параметры, которые используются в моделях. Именно создание информационной базы для моделей является самой трудной и сложной задачей.

Математические модели могут быть трех типов: *аналитические*, *экспериментально-статистические* и *смешанные экспериментально-аналитические* [1]. При создании информационных баз для моделей можно использовать три метода пирологической характеристики растительности: *выборочный*, *типовой* и *индивидуально-типовой*.

В моделях *аналитического типа* процесс горения слоя РГМ анализируется на основе законов тепло- и массопереноса и газовой динамики с учетом большого числа физико-химических характеристик РГМ и характеристик состояния среды. Примером может служить модель лесного пожара,

разработанная проф. А. М. Гришиным [2], которая содержит несколько десятков уравнений и граничных условий. Получение исходных данных по каждому участку растительности на территории для наполнения подобных моделей практически невозможно.

Более того, наполнение моделей данными является проблематичным даже с одного участка, поскольку модели описывают горение *однородных* слоев (или однородных смесей), а в природных условиях слои горючего неоднородны и по составу, и по плотности, и по влагосодержанию, и по другим свойствам.

В настоящее время многие считают, что главная пирологическая характеристика участков — это оценка запасов РГМ на них и что на картах должны отражаться именно эти данные. Однако такие сведения о запасах нельзя использовать непосредственно при расчетах горения, ведь при пожарах обычно сгорает только часть РГМ. Причем количество сгорающих запасов РГМ изменяется даже в течение суток под влиянием динамики влагосодержания горючего.

Таким образом, остается неясным вопрос, как в природных условиях следует определять характеристики для наполнения аналитических моделей, тем более что проверка корректности расчетов, особенно в отношении выделяемого тепла, затруднена.

Самыми простыми являются модели **экспериментально-статистического типа**. Основой для построения таких моделей служит набор данных, полученных при экспериментальных пожарах на участках определенной категории (например, какого-либо типа леса). В результате устанавливается зависимость скорости и интенсивности горения от переменных факторов (ветра, уровня засухи и др.) в виде эмпирической формулы, которая и служит моделью. Примером могут служить модели, приведенные в [3–5], и др.

По пути экспериментально-статистического моделирования пошли в Канаде при разработке национальной системы прогнозирования поведения лесных пожаров (FBP). В системе FBP выделено 16 наиболее характерных категорий участков растительности, которые названы *fuel types*, т. е. типы горючих материалов. С помощью экспериментальных пожаров были получены оценки сгорающих при пожаре запасов РГМ, а также скорости распространения и интенсивности пожара при различных метеорологических условиях [6]. Следует заметить, что перечень *fuel types* далеко не исчерпывает разнообразия растительного покрова Канады.

Использование моделей экспериментально-статистического типа, несмотря на их простоту, может давать неплохие результаты, но только в случае

возникновения пожаров на тех категориях участков, по которым ранее были обобщены экспериментальные данные. Поскольку категорий участков очень много, а проведение многочисленных огневых экспериментов по каждой категории невозмож но, то информационная база не может быть полной, поэтому использование моделей данного типа ограничено. Информационная база может быть создана только *по выборочному* методу. Она должна включать карты с выделением участков, относящихся к изученным категориям, с приложением математических моделей для них.

Особо следует остановиться на разновидности моделей этого типа, а именно на моделях чисто *статистических*. Они основываются на анализе данных по лесным пожарам, имевшим место ранее в данном районе, о времени их действия, о распространении их на конкретные участки и о бывших на момент возникновения и развития пожара погодных условиях. В качестве примера может служить работа [7] для региона Южного и Среднего Сихотэ-Алиня.

Американская система

Из числа моделей экспериментально-аналитического типа самая известная в мире — это модель Ротермела [8]. В ней скорость распространения горения принимается пропорциональной отношению энергии, выделяющейся при горении, к энергии, которая требуется для подготовки новых порций горючего. Модель базируется на обобщении большого экспериментального материала. В ней учитываются направление и скорость ветра, уклон поверхности, а также свойства и состояние РГМ. Все “мертвые” РГМ делятся на четыре класса по скорости их высыхания при стандартных условиях.

Модель Ротермела является основной в американской национальной системе прогнозирования поведения природных пожаров BEHAVE. Сейчас имеются четыре усовершенствованных варианта системы: BehavePlus; FlamMap; FARSITE; FSPro (в процессе разработки) [9] (информация представлена Т. М. Софоновой, проходившей в 2008–2009 гг. стажировку по программе “Фулбрайт” в ведущей пирологической лаборатории США в Миссуле, штат Монтана).

В варианте FARSITE расчет распространения пожара делается по принципу Хьюгенса, который рассматривает пожар как волну, которая распространяется, используя точки кромки пожара в качестве независимых источников новых небольших волн. Кроме того, каждый из вариантов системы содержит ряд моделей, по которым определяются влагосодержание “мертвого” и “живого” горючего в связи с погодными условиями, влияние рельефа

на ветер, скорость ветра под пологом леса на уровне середины пламени, возможность развития низового пожара в верховой и др. [9].

Разработка системы с использованием модели Ротермела стала возможной благодаря формированию информационной базы на основе *типового метода* характеристики растительности, а именно с разделением ее на пирологические типы — “топливные модели” (*fuel models*). Вначале их было 13 [10], сейчас насчитывается 40 [11]. Причем имеются определители, с помощью которых можно выбрать “топливную модель” для каждого участка.

Модели описывают древесные, кустарниковые, травянистые участки, а также вырубки. Все американские “топливные модели” характеризуются наличием РГМ разных классов, их запасами и свойствами, чтобы их можно было использовать в модели Ротермела.

С 2004 г. в США разрабатывается очень крупный проект LANDFIRE по характеристике участков растительности (площадью до 1 акра), в том числе и через “топливные модели”. Сейчас большая часть территории США (кроме Аляски) уже “закартирована”. Для этого были использованы сведения по миллиону исследованных участков, взятые из государственных и негосударственных баз данных, а также аэрокосмическая информация [12].

Итак, достоинство типового метода заключается в том, что пирологическую характеристику, необходимую для прогнозирования поведения пожаров, получает каждый участок территории. Однако такая характеристика, как правило, слишком груба, поскольку количество “топливных моделей” ограничено, а разнообразие растительного покрова в пирологическом плане огромно. Это подтверждает, к примеру, проверка карт LANDFIRE, выполненная в штате Колорадо [13].

Разработка российской системы

Из числа российских математических моделей экспериментально-аналитического типа можно отметить модели, представленные в [14–17], и ряд других. Однако вопрос о формировании информационной базы как в теоретическом, так и практическом плане решен только для модели, созданной в Институте леса [18, 19].

При этом в качестве основного метода пирологической характеристики участков растительности был принят *индивидуально-типовий метод*, при котором индивидуальная характеристика слагается из типовых элементов, отражающих сведения о компонентах комплекса РГМ, а также об условиях увлажнения, высыхания и горения РГМ на участке. Сам принцип такого метода не является новым и уже давно используется в лесной таксации.

Используемая математическая модель распространения низового пожара [18] очень проста:

$$V_x = V_0 K_w K_r K_\phi,$$

где V_0 — базовая скорость распространения пожара, м/мин;

K_w, K_r, K_ϕ — коэффициенты, учитывающие влияние на базовую скорость соответственно ветра, относительной влажности воздуха и уклона поверхности.

Как видим, модель включает базовую скорость распространения пожара и переменные коэффициенты, учитывающие относительное влияние на базовую скорость таких динамичных факторов, как ветер, уклон и относительная влажность воздуха. Относительная влажность воздуха включена в модель потому, что она имеет обычно значительные суточные колебания.

Относительное влияние ветра, уклона и влажности воздуха на скорость распространения горения было определено в процессе экспериментальных выжиганий и огневых опытов [18]. В настоящее время в литературных источниках содержится большой объем сведений о влиянии ветра и уклона на скорость горения. Их анализ и обобщение были выполнены в работе [15].

В качестве базовой скорости принимается скорость распространения кромки низового пожара в данное время на данном участке при следующих условиях: отсутствие ветра (штиль); отсутствие уклона (горизонтальная поверхность); относительная влажность воздуха 40 %.

Самым трудным делом является именно оценка базовой скорости. Анализ экспериментальных данных и наблюдений за пожарами показал, что базовая скорость зависит прежде всего от структуры основного проводника горения, т. е. от слоя из гигроскопичных горючих материалов на почве, по которому распространяется пламенное горение. Динамика изменения количества влаги и ее распределения в этом слое предопределяет возможность самого горения, количество сгорающих запасов РГМ, количество выделяемого тепла и базовую скорость [19, 20]. Все это учтено при разработке принципов и методов формирования информационной базы. Ее основной частью являются крупномасштабные карты растительных горючих материалов (карты РГМ).

Для информативного описания на участках комплексов растительных горючих материалов необходима их детальная классификация. В связи с этим дальнейшее развитие получила классификация проф. Н. П. Курбатского [21], а именно выделенные им группы РГМ были разделены на подгруппы, типы и подтипы [19].

Особое внимание было обращено на классификацию первой группы — основных проводников горения (ОПГ). Она была разделена на две подгруппы (по наличию сезонной динамики), а каждая подгруппа — на пять типов и подтипов по скорости пожарного созревания в типовых условиях. Был составлен определитель типов ОПГ, по которому их можно оценивать, используя таксационное описание выделов из материалов лесоустройства, а также в процессе лесоустройства.

Оценку базовой скорости распространения горения и интенсивности тепловыделения при горении можно выполнять путем аналитических расчетов. Однако такой способ является корректным для экспериментов в физической лаборатории, когда происходит горение однородного по своим свойствам слоя РГМ. В природных условиях таких слоев практически не бывает. Слой ОПГ на почве обычно состоит из различных по размеру частиц, неоднороден по плотности (сверху рыхлый, внизу плотный), неоднороден по влагосодержанию (вверху более сухой), в связи с чем запас его сгорающей части бывает неопределенным и динамичным.

В связи с этим была разработана методика пробных зажиганий в лесу с непосредственным измерением количества тепла, выделяющегося в процессе горения. За основу был взят кольцевой экран канадского пиролога Райта, дополненный простейшим аккумулятором тепла в виде сосуда с водой. На основе длительных пробных зажиганий при разных уровнях засухи были получены основные характеристики высыхания и горения типов ОПГ и их базовые скорости, которые могли быть использованы при прогнозировании поведения пожаров [19, 20].

Были также разработаны метод и практическая технология составления крупномасштабных карт РГМ, причем как в процессе лесоустройства, так и на основе материалов лесоустройства [22]. Хотя разработки были выполнены еще в 1995 г., но их опытно-производственная проверка не проводилась из-за отсутствия финансирования. Ситуация изменилась только в последнее время, благодаря госконтракту № 82 с Агентством лесной отрасли Красноярского края и договору № 1263/10 с Институтом космических исследований (Москва) по техническому заданию “Авиалесоохраны”.

В результате с 2008 г. начата опытно-производственная проверка технологии составления карт РГМ. Вначале была разработана компьютерная программа РГМ (рис. 1). Затем было выполнено пирологическое описание выделов, после чего составлены карты РГМ в системе ГИС по материалам лесоустройства на Чунское лесничество Богучанского района. Были также составлены в процессе самого лесоустройства карты РГМ на Красноярский

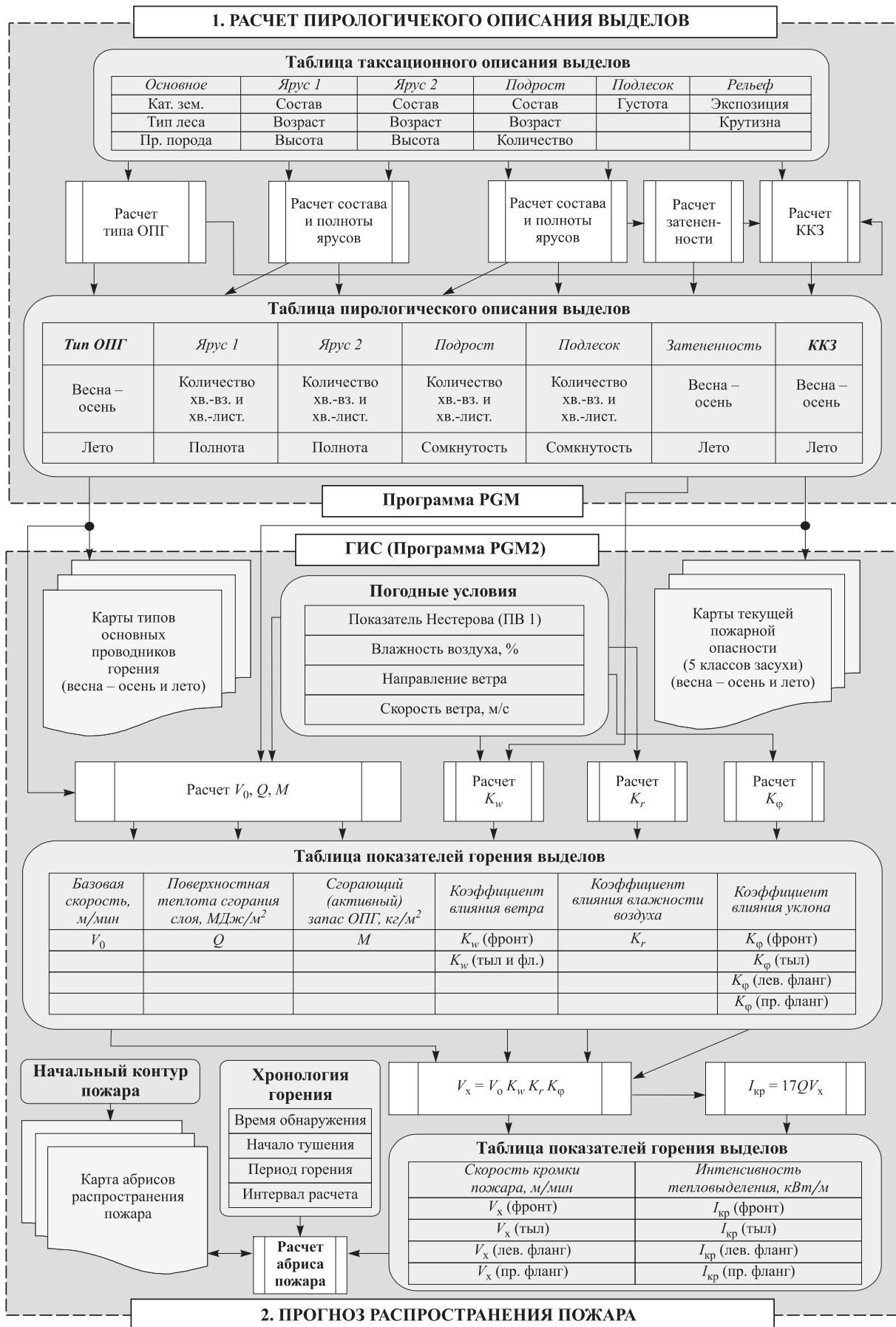


Рис. 1. Блок-схема алгоритмов программ PGM и PGM2



Рис 2. Пример прогнозирования распространения возникших лесных пожаров с помощью программы PGM2 (А, Б, В, Г, Д — этапы распространения пожаров)

государственный заповедник “Столбы” (в горных условиях).

Итак, вопрос о разработке и апробировании компьютерной технологии по созданию информационной базы для прогнозирования поведения пожаров в виде карт РГМ решен. В настоящее время разработана компьютерная программа для прогно-

зирования поведения пожаров PGM2 (см. рис. 1). При прогнозировании используются карты РГМ, пирологические описания выделов, учитываются фенологическое состояние и данные о погоде.

Ранее по оригинальной методике были исследованы послойное высыхание и горение типов ОПГ с непосредственным определением динамики выделения

тепла с единицы площади [19]. Была установлена зависимость базовой скорости от интенсивности тепловыделения (kBt/m^2) и рассчитана базовая скорость для типов ОПГ в связи с метеорологическим показателем пожарной опасности и условиями высыхания (полнотой древостоя, экспозицией и крутизной склона).

Если известны базовая скорость и коэффициенты влияния на нее внешних динамичных факторов, а также сами факторы, можно, используя данную модель, спрогнозировать возможную скорость распространения горения и его направление в любом выделе на карте, т. е. динамику изменения контура пожара. А если известны скорость распространения горения и количество выделяющегося тепла, можно рассчитать интенсивность горения на кромке [23, 24].

Первый вариант компьютерной программы такого прогнозирования (PGM2) уже разработан. На рис. 1 программа показана в виде одного из блоков, а из рис. 2 видно, как она работает. Опытно-производственная проверка программы будет выполняться ретроспективно, а также на действующих пожарах в Чунском лесничестве и Красноярском государственном заповеднике “Столбы”.

Выводы

В заключение следует остановиться на перспективах доработки, внедрения и широкого использования системы по прогнозированию поведения природных пожаров в России. В отличие от США и Канады в России имеется подробная крупномасштабная лесоустроительная информация (включая указание типов леса) на большую часть территории. На ее основе можно создавать информационные базы данных для прогнозирования поведения пожаров.

Главным препятствием для разработки системы прогнозирования поведения лесных пожаров в России является ведомственная разобщенность организаций, поэтому вопрос надо решать на государственном уровне.

венном уровне, как это делается в США и Канаде. Государственные органы лесного хозяйства заинтересованы в дальнейшем совершенствовании охраны лесов от пожаров с использованием разработок академических и прикладных институтов. Хотя следует отметить, что разработки последних зачастую ведутся на невысоком научном уровне, а академические институты не имеют финансирования для опытно-производственной проверки своих разработок.

Держателями лесоустроительной информации являются предприятия ФГУП “Рослесинфорт”. Оптимальным было бы создание информационных баз для прогнозирования поведения пожаров именно этими предприятиями, особенно в процессе лесоустройства (лесоинвентаризации), причем совместно с учеными — авторами разрабатываемой системы или при их консультации. Для этого необходимо дополнительное целевое финансирование, которое по предварительным расчетам не должно превышать 5–10 % от затрат на лесоустройство. При компьютерном прогнозировании поведения пожаров в ГИС требуются точные географические координаты пожаров. В настоящее время это решается путем использования GPS. Кроме того, из Интернета можно получать необходимые детальные метеорологические прогнозы (причем несколько вариантов) практически на любую часть территории. Таким образом, затруднений с этой стороны не предвидится.

К сожалению, практически отсутствуют сведения о том, как последовательно распространялись и развивались конкретные пожары в прошлом. Это создает определенные трудности при ретроспективной проверке системы прогнозирования с целью ее доработки и совершенствования.

Производственная проверка данной системы возможна только при сотрудничестве с агентствами лесной отрасли, а также с авиаалесоохраной и управлениями лесами, которые непосредственно связаны с тушением пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Доррер Г. А., Курбатский Н. П.** Математические модели лесных пожаров: основные понятия, классификация, требования // Прогнозирование лесных пожаров. — Красноярск : ИлиД СО АН СССР, 1978. — С. 5–26.
- Гришин А. М.** Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 407 с.
- Вонский С. М.** Интенсивность огня низовых пожаров и ее практическое значение. — Л. : ЛенНИИЛХ, 1957. — 53 с.
- Амосов Г. А.** Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров // Возникновение лесных пожаров. — М. : Наука, 1964. — С. 152–183.
- Коровин Г. Н.** Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров // Сб. науч.-иссл. работ по лесному хозяйству / Труды ЛенНИИЛХ, вып. XII. — Л., 1969. — С. 244–262.

6. Forestry Canada, Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. — Science and Sustainable Development Directorate. — Inf. Rep. ST-X-3. — Ottawa, 1992. — 63 p.
7. **Марченко Н. А.** Оценка пожарной опасности лесов по вероятности возникновения пожаров с определенной скоростью распространения на основе анализа состояний ландшафтов // География и природные ресурсы. — 1993. — № 4. — С. 131–136.
8. **Rothermel R. C.** A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. — Ogden: USDA, Forest Service Research Paper. — Int-115. — Inter-Mountain Forest and Range Experiment Station, 1972. — 40 p.
9. **Finney M. A. and Ryan K. S.** Use of the FARSITE Fire Growth Model for Fire Prediction in US National Parks // Proc. the International Emergency Mgt. and Engineering Conf. May 1995, Sofia. — P. 186.
10. **Anderson H. E.** Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior. — Ogden: General Technical Report INT-122. — 1982. — 22 p.
11. **Scott J. H. and Burgan R. E.** Standard Fire Behavior Fuel Models: a Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model // USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: General Technical Report RMRS-GTR-153. — 2005. — 80 p.
12. **Ryan K., Lee K., Rollins M., Zhu Z., Smith J., and Johnson D.** Landfire: Landscape Fire and Resource Management Planning Tools Project // OR. Proceedings RMRS-P-41. — Fort Collins : Rocky Mountain Research Station, 2006. — 45 p.
13. **Krasnow K., Schoennagel T., and Veblen T.** Forest Fuel Mapping and Evaluation of LANDFIRE fuel maps in Boulder County, Colorado, USA // Forest Ecology and Management. — 2009(257). — Р. 1603–1612.
14. **Телицын Г. П.** О распространении горения в лесу // Горение и пожары в лесу. — Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1973. — С. 164–176.
15. **Конев Э. В.** Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов // Теплофизика лесных пожаров. — Новосибирск : Институт теплофизики СО АН СССР, 1984. — С. 99–125.
16. **Гусев В. Г.** Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьера в сосновых лесах. — СПб. : ФГУ "СПбНИИЛХ", 2005. — 199 с.
17. **Доррер Г. А.** Динамика лесных пожаров. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. — 404 с.
18. **Софронов М. А.** Лесные пожары в горах Южной Сибири. — М. : Наука, 1967. — 152 с.
19. **Волокитина А. В., Софронов М. А.** Классификация и картографирование растительных горючих материалов. — Новосибирск : Изд. СО РАН, 2002. — 314 с.
20. **Софронов М. А., Волокитина А. В.** Пирологическое районирование в таежной зоне. — Новосибирск : Наука, 1990. — 205 с.
21. **Курбатский Н. П.** Техника и тактика тушения лесных пожаров. — М. : Гослесбумиздат, 1962. — 154 с.
22. **Волокитина А. В., Климушин Б. Л., Софронов М. А.** Технология составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов : практические рекомендации. — Красноярск : Институт леса СО РАН, 1995. — 47 с.
23. **Волокитина А. В., Софронов М. А., Софронова Т. М.** Прогноз поведения низовых пожаров на основе карт растительных горючих материалов : учебное пособие. — Красноярск : Институт леса СО РАН, СибГТУ, 2005. — 92 с.
24. **Софронов, М. А., Гольдаммер И. Г., Волокитина А. В., Софронова Т. М.** Пожарная опасность в природных условиях. — Красноярск : ИЛ СО РАН, 2005. — 330 с.

Материал поступил в редакцию 12 октября 2009 г.
Электронные адреса авторов: volokit@ksc.krasn.ru,
msofronov@ksc.krasn.ru, mik@ksc.krasn.ru.



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

УДК 502/504:628.3

ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА В ЧЕРНОБЫЛЕ

Рассмотрен опыт ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы в одной из самых «горячих» точек Чернобыльской зоны — Рыжем лесу. Описаны удачные попытки применения новой технологии предотвращения и тушения возгораний леса и лесных пожаров. Рассмотрено дальнейшее развитие новой технологии и перспективы ее развития. Дан анализ современных методов и техники ликвидации последствий катастроф. Обоснованы рекомендации по их совершенствованию, предложены новые метод и техника.

Ключевые слова: Чернобыльская зона, Рыжий лес, подавление возгораний леса, взрывное направленное распыление, огнетушащие составы, увлажненный песок, конусообразный импульсный вихрь, проникающее напыление в конденсированную зону горения, осажденная радиоактивная пыль, локализация.

С первых же дней Чернобыльской катастрофы стала остро ощущаться необходимость в новых методах и технике по ликвидации ее последствий, и в первую очередь пожаров и выбросов радиоактивных пылей. С 29 мая остро встал вопрос о предотвращении пожара в Рыжем лесу — сосновых посадках высотой 4–6 м, площадью 7–8 га, на которые пришелся первый и самый мощный выброс высокорадиоактивных материалов. Более 70 % радиоактивной массы осело на территории леса. Лес очень быстро высох и, как любой сухой сосновый лес, представлял идеальный материал для возникновения и развития пожара. Если бы в лесу возник пожар, то он, несомненно, был бы мощным и быстро развивающимся, а мощные столбы дыма подняли бы тучу радиоактивной пыли на высоту до 2 км. Такой выброс в зависимости от силы и направления ветра мог представлять серьезную угрозу близлежащим районам и крупным городам. Поэтому был дан строжайший приказ — любой ценой не допустить пожар в Рыжем лесу. Это была крайне сложная задача, так как на границах этого леса уровень радиации превышал 1000 Р/ч и возрастал по мере приближения к эпицентру до 2000 Р/ч. Очаги дымления возникали самопроизвольно по несколько раз в день. Пожарные заходили в лес для тушения возгораний, а выходили оттуда в очень тяжелом состоянии, и их практически сразу отвозили в больницу. В первые дни ликвидации Чернобыльской аварии это была одна из наиболее «горячих» точек, в кото-

рой ежедневно тяжело и необратимо теряли свое здоровье десятки пожарных.

Я приехал в Чернобыль 1 мая днем, а вечером 2 мая была испытана первая подвесная огнетушащая бомба, состоящая из связки пяти мешков, заполненных мокрым грунтом (грязью), водой с пенообразователем или песком и распылительными зарядами из тротиловых шашек. В испытаниях бомба показала высокую огнетушащую эффективность — от 100 до 250 м²/с при высоте подрыва от 8 до 15 м (рис. 1). Высокая точность бомбы обеспе-



Рис. 1. Первая бомба, испытанная 2 мая при подавлении возгораний в Рыжем лесу, емкостью до 250 л

чиваются малым временем распыления, поэтому легко создается огнетушащий поток, накрывающий очаг из раскачивающейся бомбы, без зависания вертолета над очагом.

Бомба крепилась к вертолету на тросе длиной 100–120 м. А чтобы при взрыве тросом не захлестнуло вертолетные винты, дополнительно подвешивался груз массой не менее 150 кг.

В первые два вылета, в которых участвовал и автор статьи, осуществляя прицеливание бомб, вертолет зависал над очагом на довольно длительное время: приходилось дожидаться, пока раскачивание бомбы не уменьшится.

Дальнейшая отработка методики подрыва бомбы позволила фактически пренебречь неизбежным раскачиванием груза под вертолетом: достаточно было поймать момент прохождения “груза” — распылительной бомбы над очагом пожара или около него и осуществить электроподрыв. При этом бомба создавала конусообразный, импульсный вихрь распыленного огнетушащего состава, с широким мощным фронтом, что позволило обеспечить эффективное, мгновенное, сплошное тушение верхового и низового пожара на заданной площади.

С 3 мая в районе Чернобыля была оборудована площадка, где происходило снаряжение, сборка бомб и подвеска их к вертолетному тросу. В последующих 5–6 вылетах я также лично осуществлял прицеливание бомб, отрабатывая новую методику прицеливания, и получил при этом очень высокую дозу облучения. Зато в результате этой отработки вертолеты с бомбами стали с первого захода тушить очаги возгорания в Рыжем лесу, даже не останавливаясь и не зависая над ними.

После отработки и внедрения методики прицеливания и подрыва бомбы экипажи вертолетов получали при полете малые дозы радиации. В июне применение данной технологии было расширено до распыления вязких составов (“нефтяной бурды”), локализующих радиоактивную пыль на сложных поверхностях, в зонах, недоступных для других средств локализации. Всего за май–июнь 1986 г. я побывал в Чернобыльской зоне не менее 8 раз.

В этот период в зоне было проведено успешное испытание многоствольного модуля на салазках — стационарного исполнительного модуля (рис. 2). Модуль был разработан для решения еще одной актуальной чернобыльской проблемы — обеспечение безотказной работы находящихся длительное время в режиме ожидания пожарных модулей, охраняющих энергетическое оборудование на участках с высокими уровнями радиации.

В начале июля по решению правительенной комиссии я был командирован в Москву для доклада в ЦК КПСС о новых способах тушения пожаров



Рис. 2. Многоствольный модуль автоматизированной системы защиты для технологической установки на нефтегазовой платформе, в цеху, на портовом терминале, танкере, в насосной или компрессорной станции

и локализации активной пыли в труднодоступных зонах, а также о перспективах создания принципиально новой, универсальной техники многоплановой защиты. В результате было дано поручение Министерству обороны промышленности и Министерству машиностроения выделить два завода: “Мотовилиха” в г. Перми — для производства опытной партии многоствольных установок, ПО “Полимер” в г. Чапаевске Самарской (Куйбышевской) обл. — для производства подвесных бомб. С многоствольными установками дело затянулось на два года, а опытная партия бомб (2000 шт.) была изготовлена до конца августа 1986 г. и отправлена в Чернобыльскую зону. Однако я уже туда не попал по состоянию здоровья.

Вопрос с изготовлением партии (7 шт.) девятиствольных установок на базе двухосных лафетов (рис. 3) был решен в Киеве на опытном производстве Института технической теплофизики АН Украины. Эти установки были отправлены в Чернобыльскую зону и там использованы в качестве стационарных модулей систем пожарной защиты ряда объектов, в частности трансформаторных подстанций недалеко от аварийного 4-го блока.

В 1988–1989 гг. я работал периодически в Славутиче над совершенствованием многоствольных установок на лафетах и боеприпасов к ним. Эти установки планировалось использовать в качестве вспомогательных, буксируемых пожарными авто-



Рис. 3. Лафетные многоствольные установки: возимая многоствольная установка на прицепе как исполнительный модуль системы защиты (вверху) и 30-ствольный модуль безоткатный (внизу)

мобилями или стационарных модулей для объектовых систем пожарной защиты, автоматизированных или с ручным управлением. Однако в дальнейшем эта тема не получила должного финансирования и не была доведена до опытно-промышленного производства. Полученные материалы были мною, как научным руководителем, использованы в близкой по техническому исполнению теме “Торможение” (заказчик — ГРАУ МО СССР) при проектировании и испытаниях 40-ствольной установки “Импульс-1” на шасси танка Т-55 на Львовском танкоремонтном заводе в 1989 г., а также при проектировании опытно-промышленной 50-ствольной установки “Импульс-2” в Киевском специальном КБ и КБ Киевского танкоремонтного завода. В дальнейшем была выпущена опытно-промышленная партия из 32 машин под наименованием “Импульс-3” и “Импульс-3М” (рис. 4). Семь машин до настоящего времени работают в объектовых пожарных частях Украины: на Чернобыльской АЭС, в полтавском отряде по тушению газовых и нефтяных скважин, на Черкасском ПО “Азот”, в Черниговской обл. на НПЗ, в Симферополе. В Россию было отправлено не менее 15 таких машин, три из которых работали в Башкортостане, две — в Самарской обл. и две — в Саратовской.

Результаты работ по подвесной бомбе также были апробированы на практике: дважды в 90-х годах эта технология была применена при тушении лесных пожаров в ущельях над Ялтой, в районе Калуша на ПО “Ориана” и в районе Кумертау (Башкортостан). На базе полученных результатов на



Рис. 4. Импульс-3М

ФГУП “НПО “Базальт” было создано промышленное производство одного из вариантов водяной бомбы, прицельно сбрасываемой на очаг пожара. Перспективные варианты подвесных и прицельно сбрасываемых бомб (рис. 5) созданы при участии автора на ФГУП “НПО “Механизация”. Эта бомба способна эффективно потушить от 100 до 200 м² горящего леса в зависимости от его вида, высоты и интенсивности горения. Залп из 4-х бомб, расположенных определенным образом, способен потушить лесной пожар на площади до 2000 м², как показали испытания в Польше на полигоне. Эта бомба совершенно безопасна для леса: не ломает деревья, кусты, а животных и людей не убивает и не ранит. Наиболее эффективен для взрывного распыления диапазон высот от 8 до 15 м. При использовании в бомбе простого взрывателя с замедлением вертолет может при выполнении задания лететь на высоте



Рис. 5. Водяная бомба, изготовленная из стандартной пластиковой бочки, емкостью 160 л, с дном, имеющим радиальные разрезы



Рис. 6. Универсальные импульсные огнетушители

до 1000 м. На сегодня это наиболее совершенный и эффективный образец водяной бомбы, на базе которого возможно создать промышленный образец универсальной водяной бомбы с большим спросом.

Подвесные огнетушащие бомбы производятся и применяются в особо трудных случаях тушения лесных пожаров в Швейцарии и Германии. Проведены испытания в Канаде одного из ранних конструктивных решений водяной бомбы. В Швейцарии фирмой "Рутомех" изготовлена опытно-промышленная партия универсальных огнетушителей (рис. 6), импульсно распыляющих жидкости, гели, порошки и природные грунты, песок, грязь, снег, что впервые сделало работу пожарных независимой от привоза огнетушащих составов при тушении пожара в труднодоступных зонах.

В трагическое чернобыльское время наработан уникальный опыт и получены перспективные решения по ликвидации последствий катастрофы, актуальность которых высока и неуклонно возрастает в связи с глобальным потеплением, опасностью крупномасштабных террористических атак и про-

грессирующим увеличением масштабов техногенных аварий. К сожалению, этот опыт в виде старых или искаженных технических решений в очень малой степени используется в России и еще гораздо меньше на Украине. Средства, выделяемые на чернобыльскую тематику, растворились в бесконечном множестве мониторингов зоны ЧАЭС, биологических исследований и пр. Упущенное самое главное: техника и методы локализации и ликвидации последствий аварий и катастроф не изменились качественно ни в России, ни тем более на Украине. Техническая оснащенность пожарно-спасательных подразделений, как и в Чернобыле, предполагает неизбежный массовый героизм и, соответственно, массовые потери персонала, как обязательное условие ликвидации последствий масштабной катастрофы или террористической атаки.

Мы, отрабатывая в Чернобыле новые технологии ценой здоровья, а зачастую и жизни, надеялись, что наш опыт и примененные впервые там уникальные тактико-технические решения станут основой для качественно нового перевооружения пожарной охраны, позволяющего быстро, эффективно и более безопасно, т. е. с минимальными людскими потерями, ликвидировать последствия будущих катастроф. Однако наши надежды практически не оправдались ни в России, ни на Украине, несмотря на прямое указание Президента России после катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС незамедлительно приступить к ликвидации большого технического отставания России в области технического обеспечения безопасности. Но, к большому сожалению, в наши разработки вкладывают деньги только за рубежом, а не на Родине. Пока у нас еще есть силы и остатки здоровья, мы еще можем подождать, но долго ли?

*Материал поступил в редакцию 18 января 2010 г.
Электронный адрес автора: z-impulse@rambler.ru.*



С. А. Евтюхов
канд. техн. наук, доцент Уральского
института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия



А. А. Урицкая
канд. хим. наук, доцент Уральского
института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия



С. Н. Пазникова
канд. техн. наук, начальник кафедры
Уральского института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.84.664

ПЕНООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ АЛКИЛСУЛЬФАТОВ НАТРИЯ

Приведены экспериментальные данные по определению пенообразующей способности препаратов на основе представителей гомологического ряда алкилсульфатов натрия. Получены эмпирические уравнения, показывающие влияние концентрации поверхностно-активных веществ, длины углеводородной цепочки, природы и валентности электролитов на эффективность пенообразования препаратов указанного состава.

Ключевые слова: алкилсульфаты натрия, устойчивость пен, пенообразующие свойства, концентрация ПАВ, электролиты.

В практике пожаротушения успешно применяются синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ). Исследование их пенообразующих характеристик было и остается важной практической и теоретической задачей [1–6]. В настоящее время проводятся исследования влияния условий, таких как концентрация ПАВ, температура и др., на свойства пенообразователей для тушения пожаров [7–9]. Однако спектр применяемых ПАВ достаточно широк, а данных о механизме и результатах совместного действия на пенообразующую способность различных факторов в литературе недостаточно.

В настоящее время в качестве пенообразователей широко применяются соединения на основе алкилсульфатов натрия. В данном исследовании были выбраны гомологи алкилсульфатов состава C_{10} – C_{18} . Индивидуальные алкилсульфаты натрия получают в лабораторных условиях методом сульфатирования органических соединений. Нами проводилось сульфатирование индивидуальных первичных спиртов нормального строения с длиной углеводородного радикала от 10 до 18 атомов углерода. Использовали спирты марки “ч”. Наилучшие результаты по массовому выходу продукта и его цветности были получены при использовании в качестве сульфатирующего агента комплекса хлорсульфоновой кислоты с серным эфирем. Синтезирован-

ные алкилсерные кислоты нейтрализовали этанольным раствором $NaOH$ до pH 6–7. После очистки и сушки при комнатной температуре образцы анализировали. Проведенный по стандартной методике [10] анализ показал содержание основного вещества $(90 \pm 5)\%$, примеси неорганической соли 1 % и следы масел.

Пенообразующую способность растворов алкилсульфатов натрия определяли по методике Росс-Майлса [11]. За основные характеристики принимали две величины: высоту столба пены в первоначальный момент времени H и устойчивость пены α — долю оставшейся части высоты столба пены через 5 мин.

Влияние концентрации алкилсульфатов натрия

Зависимость между концентрацией алкилсульфатов натрия и их пенообразующей способностью представлена на рис. 1. Характерно, что для каждого образца существует определенный минимум концентраций, обеспечивающий вспенивание раствора. С увеличением молекулярной массы соединений возрастает их поверхностная активность, усиливаются коллоидные свойства, поэтому для высших гомологов алкилсульфатов их концентрация в растворе, необходимая для вспенивания, меньше,

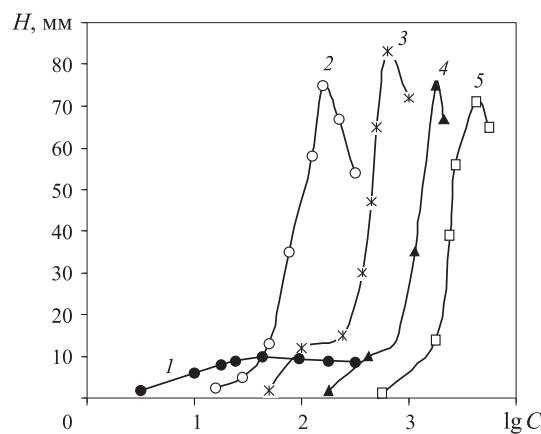


Рис. 1. Влияние концентрации ПАВ C (мг/л) на высоту столба пены H : 1 — C_{18} ; 2 — C_{16} ; 3 — C_{14} ; 4 — C_{12} ; 5 — C_{10}

чем для низших гомологов. Эта минимальная концентрация C (мг/л) связана с длиной углеводородной цепочки N эмпирическим соотношением

$$\lg C = 5,32 - 0,25N. \quad (1)$$

Исследования влияния концентрации ПАВ на пенообразующую способность растворов алкилсульфатов показали наличие двух участков гиперболического вида на кривой *высота столба пены — концентрация ПАВ* (см. рис. 1). Протяженность первого участка наблюдается до концентрации ПАВ, равной примерно половине критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ приводит к резкому возрастанию пенообразования, и хотя кривая на этом участке имеет также гиперболический вид, параметры гиперболы другие. Здесь, по-видимому, при концентрациях ПАВ, соответствующих перегибу на кривой, происходит изменение структуры и состояния ПАВ в поверхностных слоях тонких пленок, а именно образование коллоидной структуры. Это подтверждается и тем фактом, что у образца C_{18} , обладающего наиболее выраженными коллоидными свойствами, перегиба не наблюдается, а у образца C_{14} он выражен наиболее ярко.

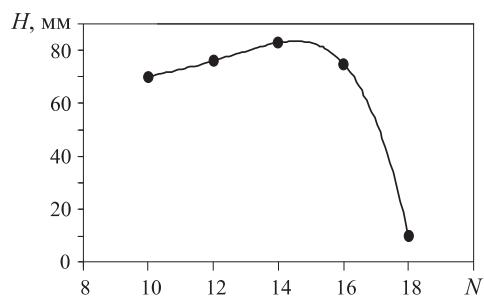


Рис. 2. Влияние длины углеводородной цепочки ПАВ на пенообразующие свойства растворов при концентрации ПАВ, равной ККМ

С увеличением длины углеводородного радикала ПАВ усиливается их способность стабилизировать пены. При определенной длине углеродной цепочки стабилизирующее действие ПАВ достигает максимума и затем снижается. Аналогичная зависимость наблюдается и на рис. 2, на котором представлены данные по пенообразующей способности растворов алкилсульфатов натрия при ККМ. Это подтверждает вывод о наличии пропорциональной связи между высотой столба пены и ее устойчивостью.

Влияние добавок электролитов

Полученные данные о влиянии электролита NaCl на пенообразующую способность (или устойчивость пен), приведенные на рис. 3, по-видимому, можно объяснить возрастанием степени заполнения адсорбционного слоя пленок. Интересно отметить, что для образцов C_{12} и C_{14} высота столба пены увеличивается пропорционально с ростом концентрации электролита ($\lg C_s$) и резко падает при образовании мицелл в растворе. Для образца C_{16} на рис. 3 приведена только ниспадающая часть кривой. На устойчивость пен, стабилизованных соединениями C_{10} и C_{18} , электролиты в исследованном диапазоне концентраций не оказывают заметного влияния. Не вдаваясь в подробности механизма влияния электролита на устойчивость пен растворов C_{10} и C_{18} , следует отметить это как факт, свидетельствующий о том, что даже длина углеводородного радикала (не говоря о его природе) определяет влияние электролитов на устойчивость пен, стабилизованных различными соединениями гомологов.

Кроме концентрации электролитов, на устойчивость пен, стабилизированных алкилсульфатами натрия, влияет природа и валентность добавленных

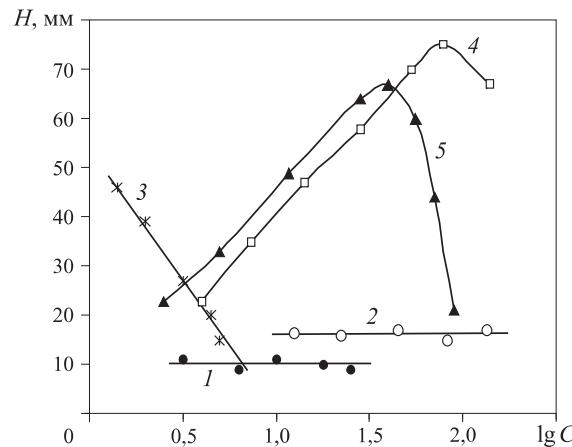


Рис. 3. Влияние концентрации хлорида натрия C (ммоль/л) на пенообразующие свойства алкилсульфатов: 1 — C_{18} (25 мг/л); 2 — C_{10} (500 мг/л); 3 — C_{16} (50 мг/л); 4 — C_{12} (300 мг/л); 5 — C_{14} (100 мг/л)

Значения констант a и b при использовании в качестве ПАВ додецилсульфата натрия (300 мг/л)

Константа	Электролит					
	LiCl	NaCl	KCl	RbCl	SrCl ₂	CeCl ₃
a	-8,5	-2,5	16,3	28,1	38,4	109,5
b	35,2	36,8	36,2	33,5	43,4	55,5

катионов солей. Восходящий участок кривой ($H - \lg C_s$) можно с достаточной степенью точности описать эмпирическим уравнением вида

$$H = a + b \lg C_s, \quad (2)$$

где a и b — константы, характеризующие влияние электролита на устойчивость пен.

В таблице приведены значения констант a и b из уравнения (2), характеризующие влияние различных солей на устойчивость пен, стабилизованных додецилсульфатом натрия. Как видно из данных таблицы, на значение константы a оказывает влияние как природа, так и валентность катиона, в то время как константа b зависит только от валентности катиона.

Добавление катионов щелочных металлов к растворам анионных ПАВ вызывает эффект понижения поверхностного натяжения растворов обратно пропорционально размерам гидратированных радиусов катионов [12, 13]. В нашем случае значения константы a из уравнения (2) для одновалентных катионов также обратно пропорциональны размерам гидратированных радиусов. Исходя из этого можно сделать вывод, что явление повышения устойчивости пен, стабилизованных средними гомологами алкилсульфатов натрия, при добавлении электролитов объясняется повышением адсорбции ПАВ на границе раздела фаз, что приводит к созданию более “прочного” адсорбционного слоя пленок пены.

Влияние температуры

По данным авторов [11] устойчивость пен с повышением температуры раствора падает. В то же время в работах Б. В. Дерягина [12, 14, 15] было показано, что устойчивость пен мало меняется при изменении температуры. Этот факт позволил ему сделать вывод о том, что силы, обуславливающие устойчивость пен, мало зависят от температуры в присутствии электролитов.

В нашем случае высота столба пены, стабилизированной тетрадецилсульфатом натрия, уменьшается с ростом температуры до определенного пре-

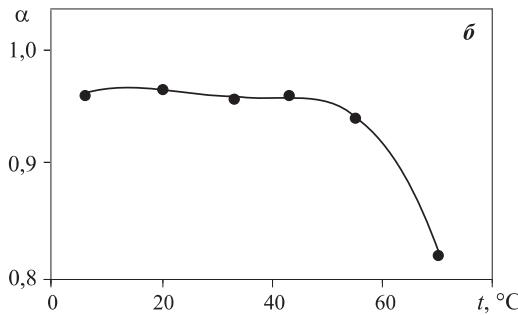
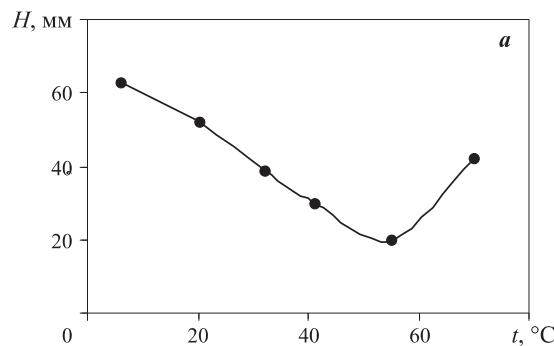


Рис. 4. Влияние температуры на пенообразующие свойства растворов тетрадецилсульфата натрия (400 мг/л): *а* — на высоту столба пены, *б* — на устойчивость пены

дела (~ 55 °C), а затем резко возрастает, устойчивость же пен остается постоянной приблизительно до 55 °C и затем резко падает (рис. 4) вследствие гидролиза ПАВ. Подобное изменение в составе раствора подтверждает и тот факт, что если раствор нагреть до температуры выше 60 °C и охладить, то пенообразующие параметры раствора (H и α) будут значительно отличаться от параметров, полученных перед нагреванием.

Следует отметить несоответствие в изменении высоты столба пены H и ее устойчивости α при повышении температуры. Подобное несоответствие позволяет говорить о том, что не всегда наблюдается симметричное изменение высоты столба пены и ее устойчивости.

Выводы

Методом Росс-Майлса изучены пенообразующие свойства гомологов алкилсульфатов натрия состава $C_{10}-C_{18}$. Показано, что наиболее значительной пенообразующей способностью обладают растворы додецил-, тетрадецил- и гексадецилсульфата натрия в присутствии неорганических солей при концентрации ПАВ, меньшей ККМ. Усиление пенообразующих свойств растворов алкилсульфатов с ростом концентрации электролита в растворе можно объяснить возрастанием степени адсорбции ПАВ на границе раздела фаз раствор — воздух.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тихомиров В. К.** Пены. Теория и практика их получения и разрушения. — М. : Химия, 1975. — 264 с.
2. **Урьев Н. Б.** Высококонцентрированные дисперсные системы. — М. : Химия, 1980. — 319 с.
3. **Кругляков П. М., Ексерова Д. Р.** Пена и пенные пленки. — М. : Химия, 1990. — 432 с.
4. **Русанов А. И.** Мицеллообразование в растворах мицеллообразующих ПАВ. — СПб : Химия, 1992. — 280 с.
5. **Русанов А. И., Куни Ф. М., Щекин А. К.** Термодинамические и кинетические основы теории мицеллообразования // Коллоид. журн. — 2000. — Т. 62, № 2. — С. 199–203.
6. **Гончарик И. К., Можейко Ф. Ф., Войтенко А. И., Куликова Т. П.** Изучение пенообразующей и стабилизирующей способности бинарных растворов натриевых солей карбоновых кислот различной длины цепи // Журн. прикл. химии. — 2006. — Т. 79, № 3. — С. 477–482.
7. **Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.** Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 335 с.
8. **Воевода С. С.** Определение пенообразующей способности пенообразователей для тушения пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 6. — С. 75–77.
9. **Воевода С. С., Макаров С. А., Шароварников А. Ф.** Влияние температуры на поверхностное натяжение водных растворов синтетических пленкообразующих пенообразователей для тушения пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 2. — С. 80–82.
10. **ГОСТ Р 50002–92.** Вещества поверхностно-активные. Алкилсульфаты натрия первичные технические. Методы анализа. — Введ. 1993–07–01. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 16 с.
11. Поверхностно-активные вещества и моющие средства : справочник / Под ред. А. А. Абрамзона. — М. : ТОО НТР “Гиперокс”, 1993. — 270 с.
12. **Воюцкий С. С.** Курс коллоидной химии. — М. : Химия, 1975. — 512 с.
13. **Фридрихсберг Д. А.** Курс коллоидной химии. — Л. : Химия, 1984. — 368 с.
14. **Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М.** Поверхностные силы. — М. : Наука, 1987. — 399 с.
15. **Дерягин Б. В.** Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. — М. : Наука, 1986. — 208 с.

Материал поступил в редакцию 28 января 2010 г.
Электронный адрес авторов: paznikova2007@mail.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. — М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 250 с.

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

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

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



Н. Н. Брушлинский
д-р техн. наук, профессор,
начальник НИЦ управления
безопасностью сложных
систем Академии ГПС
МЧС РФ, г. Москва, Россия



М. Х. Усманов
канд. физ.-мат. наук, доцент,
начальник НИЦ проблем пожарной
безопасности Высшей технической
школы пожарной безопасности
МВД РУз, г. Ташкент, Республика
Узбекистан



Д. О. Пулатов
инженер Высшей техни-
ческой школы пожарной
безопасности МВД РУз,
г. Ташкент, Республика
Узбекистан



В. П. Семенов
инженер Высшей техни-
ческой школы пожарной
безопасности МВД РУз,
г. Ташкент, Республика
Узбекистан

УДК 614.841.412

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В РЕЗЕРВУАРАХ

Рассматривается новая методика расчета параметров тушения пожаров горючих жидкостей резервуаров, позволяющая обеспечить более рациональное и эффективное тушение таких пожаров.

Ключевые слова: методика, параметры тушения, резервуары.

Введение

Резервуары типа РВС для нефти, нефтепродуктов и горючих жидкостей относятся к промышленным сооружениям повышенной пожарной опасности. Пожары в резервуарах и резервуарных парках являются сложными, поэтому тушение их трудоемко и требует больших затрат сил и средств. Отсутствие же методики для определения основных параметров тушения горючих жидкостей в резервуарах типа РВС расчетным путем ограничивает возможности планирования тушения подобных пожаров с требуемой эффективностью. С учетом возросших требований к деятельности ГПС решение проблемы повышения эффективности тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах путем разработки и использования методики для расчета основных параметров тушения подобных пожаров, а также оценки эффективности их тушения приобретает большое значение.

Разработка такой методики базируется на анализе реальных и потенциальных пожаров, а также детальном рассмотрении накопленных по данному вопросу материалов.

1. Сущность методики

Одним из наиболее важных параметров, характеризующих развитие пожара в резервуаре, являет-

ся его тепловой режим. В зависимости от физико-химических свойств горючих жидкостей возможен различный характер распределения температур в объеме жидкости. Так, при горении керосина, дизельного топлива значения температуры экспоненциально снижаются от температуры кипения на поверхности жидкости до температуры хранения ее в глубинных слоях. При горении мазута, нефти, некоторых видов газового конденсата и бензина в горючем образуется прогретый до температуры кипения гомотермический слой, толщина которого увеличивается с течением времени [1, 2].

Накопление тепловой энергии в горючем значительно увеличивает время тушения пожара, а также расход пенных средств. Кроме того, увеличение времени свободного развития пожара повышает опасность его распространения на соседние резервуары и создает угрозу вскипания и выброса.

Нередки случаи, когда при тушении подобных пожаров проводится несколько безуспешных пенных атак. При этом расход пенообразователя во много раз может превышать его расчетное значение. Это можно объяснить тем, что при подготовке пенной атаки не всегда учитывается необходимость повышения интенсивности подачи огнетушащего средства сверх нормативной в зависимости от времени свободного развития пожара.

© Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Пулатов Д. О., Семенов В. П., 2010

Процесс тушения нефтепродуктов воздушно-механической пеной осуществляется следующим образом [3]. Пена подается на поверхность горящей жидкости обычно у борта резервуара. Образующаяся при этом горка пены затем растекается по поверхности нефтепродукта; свежие порции пены, падая на поверхность жидкости, оттесняют предыдущие и так до тех пор, пока пена не достигнет противоположного борта резервуара. В дальнейшем поступающая пена, продолжая вытеснять уже образовавшийся слой пены, сжимает его, увеличивая общую толщину слоя.

По поверхности холодного нефтепродукта пена движется со скоростью около 34 см/с. В случае горения нефтепродукта скорость продвижения пены уменьшается по мере удаления от места подачи пены и в некоторой точке может стать равной нулю. Это явление можно объяснить разрушением пены под воздействием высоких температур нагретого нефтепродукта и пламени [3].

Из всей совокупности явлений, характеризующих процесс тушения пожара горящей жидкости пеной, можно выделить следующие основные моменты.

1. Образование локального слоя пены на поверхности горючей жидкости при ее тушении зависит от соотношения скоростей двух противоположно направленных процессов:

- скорости разрушения пены на поверхности горящей жидкости;
- интенсивности подачи пены.

Если интенсивность подачи пены превышает скорость ее разрушения, то локальный слой пены на поверхности образуется сразу. А поскольку скорость разрушения пены со временем уменьшается вследствие охлаждения горящей жидкости выделяющимся из пены отсеком, одновременно повышается и скорость нарастания этого слоя, и растекание его по поверхности горящей жидкости.

Если же интенсивность подачи пены меньше скорости ее разрушения, то локальный слой образуется не сразу, а спустя определенный промежуток времени, за который температура горящей жидкости снизится настолько, что интенсивность подачи пены начнет превышать скорость ее разрушения.

2. Как только на поверхности горящей жидкости образуется локальный слой пены, он экранирует часть жидкости от лучистого теплового потока пламени и охлаждает верхний прогретый слой. Это приводит к тому, что температура прогретого слоя жидкости падает, и, как следствие, уменьшается количество паров, поступающих в зону горения, снижается скорость реакции окисления, уменьшается количество выделяющегося тепла и температура горения [4]. Способность пены тормозить испарение горящей жидкости, т. е. ее изолирующее действие,

является решающим фактором в процессе тушения пламени [3].

Следовательно, для тушения пламени на поверхности горящей жидкости необходимо накопить слой пены кратностью K толщиной h (м).

При этом время тушения горящей жидкости τ_t (мин) в зависимости от фактической интенсивности подачи огнетушащего средства J_ϕ (л/(с·м²)) описывается уравнением [3]:

$$\tau_t = C \ln \left[1 \cdot \left(\frac{1-h}{KCJ_\phi} \right)^{-1} \right], \quad (1)$$

где C — коэффициент пропорциональности, характеризующий устойчивость пены.

Из уравнения (1) можно найти значение критической интенсивности подачи огнетушащего средства J_{kp} , при котором время тушения стремится к бесконечности [3]:

$$J_{kp} = \frac{h}{KC}. \quad (2)$$

Из литературных источников [3–6] следует, что взаимосвязь между нормативной и критической интенсивностями подачи огнетушащего средства определяется выражением $J_h = 2,3J_{kp}$, тогда

$$J_{kp} = J_h / 2,3. \quad (3)$$

Подставив значения (2) и (3) в уравнение (1), получим основное уравнение для определения времени тушения пожаров нефтепродуктов воздушно-механической пеной средней кратности при условии подачи пены на поверхность горящей жидкости:

$$\tau_t = C \ln \left[1 \cdot \left(\frac{1-J_h}{2,3CJ_\phi} \right)^{-1} \right]. \quad (4)$$

Из [7] следует, что расчетное время тушения пожара нефтепродукта при времени свободного развития пожара, не превышающего 3 ч, и при подаче пены на поверхность горящей жидкости с нормативной интенсивностью следует принимать $\tau_t = \tau_h = 15$ мин (например, для тушения бензина в этом случае $J_h = 0,08$ л/(с·м²)).

Подставив значения интенсивности $J_\phi = J_h$ и времени тушения пожара $\tau_t = \tau_h = 15$ мин в уравнение (4), легко можно определить для данных условий значение коэффициента пропорциональности: $C = 26,3$.

При свободном развитии пожара свыше 3 ч под воздействием температур нагретого слоя нефтепродукта и пламени скорость разрушения пены значительно возрастает. И следовательно, для достижения нормативного значения времени тушения пожара $\tau_t = \tau_h = 15$ мин фактическая интенсивность

подачи огнетушащего средства должна превышать нормативную, т. е. $J_{\phi} > J_n$. Исходя из практики тушения подобных пожаров в [7] даны следующие рекомендации по повышению интенсивности подачи раствора пенообразователя сверх нормативной в зависимости от времени свободного развития пожара:

- от 3 до 6 ч — в 1,5 раза;
- от 6 до 10 ч — в 2 раза;
- более 10 ч — в 2,5 раза.

Как видим, указанные рекомендации приведены только для интервалов времени свободного развития пожара, начиная с 3 ч. Для установления же значений данного параметра для промежуточных значений времени (4, 5 ч и более) требуется расчет.

Для устранения указанного недостатка методом графической интерполяции были получены значения степени, определяющие, во сколько раз следует повысить интенсивность подачи пены относительно нормативной (исходной) для промежуточных значений времени свободного развития пожара. За исходное время свободного развития пожара принимается время, равное 3 ч. Были также рассчитаны соответствующие значения коэффициентов пропорциональности C (см. таблицу).

При времени свободного развития пожара, превышающем 3 ч, для достижения нормативного времени тушения $\tau_t = \tau_n = 15$ мин интенсивность необходимо увеличить относительно нормативной в соответствии с таблицей.

Если рассчитанную вышеуказанным способом интенсивность обозначить как требуемую J_{tp} , то условие достижения нормативного времени тушения $\tau_n = 15$ мин при времени свободного развития пожара, превышающем 3 ч, можно представить в виде равенства $J_{\phi} = J_{tp}$.

Степень повышения интенсивности подачи пены сверх нормативной и значения коэффициента пропорциональности C в зависимости от времени свободного развития пожара с интервалом 1 ч

Время свободного развития пожара, ч	Степень повышения интенсивности сверх нормативной	Значение C	Время свободного развития пожара, ч	Степень повышения интенсивности сверх нормативной	Значение C
3	1,00	26,3	12	2,20	68,2
4	1,18	32,6	13	2,28	70,9
5	1,34	38,6	14	2,34	73,1
6	1,50	43,8	15	2,38	74,4
7	1,64	48,7	16	2,42	75,7
8	1,78	53,6	17	2,46	77,1
9	1,90	57,7	18	2,48	77,8
10	2,00	61,2	19	2,50	78,5
11	2,10	64,7			

Для оценки эффективности тушения пожара в качестве объективного показателя может быть использована величина $\Pi_{\phi,t}$ [8]:

$$\Pi_{\phi,t} = \frac{1}{q_{ud} \tau_t}, \quad (5)$$

где $\Pi_{\phi,t}$ — показатель эффективности тушения, показывающий, какую площадь пожара для данного конкретного случая можно потушить единицей массы огнетушащего средства за единицу времени, $\text{м}^2/(\text{л}\cdot\text{мин})$;

q_{ud} — удельный расход огнетушащего средства, $\text{л}/\text{м}^2$.

Повышение эффективности тушения пожара Π_{ϕ} (%) относительно нормативного значения можно найти по уравнению

$$\Pi_{\phi} = \frac{\Pi_{\phi,t}^{\phi} - \Pi_{\phi,t}^n}{\Pi_{\phi,t}^n} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где $\Pi_{\phi,t}^{\phi}$ — показатель эффективности тушения пожара при фактической интенсивности подачи огнетушащего средства, $\text{м}^2/(\text{л}\cdot\text{мин})$;

$\Pi_{\phi,t}^n$ — показатель эффективности тушения пожара при достижении нормативных параметров его тушения, $\text{м}^2/(\text{л}\cdot\text{мин})$.

Приведенная выше методика позволяет определять все основные параметры тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах расчетным путем, а также планировать тушение подобных пожаров с определенной эффективностью.

2. Расчет нормативных параметров тушения пожаров нефтепродуктов

Рассмотрим основные особенности использования разработанной методики на примере тушения условного пожара бензина в резервуаре типа РВС-5000, с площадью зеркала горючего $S_g = 408 \text{ м}^2$, при времени свободного развития пожара 6 ч.

Целесообразность расчета основных нормативных параметров тушения любого пожара нефтепродуктов в резервуаре определяется прежде всего необходимостью использовать эти данные для планирования тушения подобного пожара с требуемой эффективностью.

Для достижения нормативного времени тушения пожара $\tau_t = \tau_n = 15$ мин при времени свободного развития пожара 6 ч интенсивность подачи огнетушащего средства следует увеличить относительно нормативной в 1,5 раза (см. таблицу).

С учетом этого фактическая интенсивность подачи огнетушащего средства, равная требуемой, составит:

$$J_{\phi} = J_{tp} = 1,5 J_n = 1,5 \cdot 0,08 = 0,12 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Остальные параметры тушения пожара будут соответствовать нормативным значениям, так как являются производными от $J_{\text{тр}}$:

- удельный расход огнетушащего средства:

$$q_{\text{уд}}^{\text{H}} = J_{\text{тр}} \tau_{\text{н}} = 0,12 \cdot 15 \cdot 60 = 108 \text{ л}/\text{м}^2;$$

- общий расход огнетушащего средства по раствору пенообразователя:

$$Q_{\text{общ}}^{\text{H}} = J_{\text{тр}} S_{\text{г}} = 0,12 \cdot 408 = 48,96 \approx 49 \text{ л}/\text{с};$$

- общие затраты раствора пенообразователя для тушения пожара:

$$W_{\text{общ}}^{\text{H}} = q_{\text{уд}}^{\text{H}} S_{\text{г}} = 108 \cdot 408 = 44064 \text{ л};$$

- нормативный показатель эффективности тушения пожара:

$$\Pi_{\text{з.т}}^{\text{H}} = \frac{1}{q_{\text{уд}}^{\text{H}} \tau_{\text{т}}} = \frac{1}{108 \cdot 15} = 6,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{л}\cdot\text{мин}).$$

3. Планирование тушения пожаров нефтепродуктов

С учетом того что эффективность тушения любого пожара в резервуаре должна быть не ниже нормативной, при планировании тушения пожара нефтепродукта в резервуаре необходимо использовать расчетные нормативные параметры тушения подобного пожара.

Из высказывания ясно (см. п. 1), что для достижения нормативной эффективности тушения пожара бензина в резервуаре типа РВС-5000, с площадью зеркала горючей жидкости $S_{\text{г}} = 408 \text{ м}^2$, общий расход пены по раствору пенообразователя должен быть не менее $Q_{\text{общ}}^{\text{H}} = 49 \text{ л}/\text{с}$.

Один из вариантов, обеспечивающих подачу такого количества пены по раствору пенообразователя с учетом технических характеристик генераторов пены типа ГПС [7], — это задействовать два генератора пены типа ГПС-2000 при напоре 0,5 МПа (при этом для каждого ГПС-2000 расход составит $q_{\text{ГПС-2000}} = 18,5 \text{ л}/\text{с}$) и два ГПС-600 при напоре 0,6 МПа ($q_{\text{ГПС-600}} = 6 \text{ л}/\text{с}$).

Действительно, в этом случае

$$\begin{aligned} Q_{\text{общ}}^{\phi} &= 2q_{\text{ГПС-2000}} + 2q_{\text{ГПС-600}} = \\ &= 2 \cdot 18,5 + 2 \cdot 6 = 49 \text{ л}/\text{с}. \end{aligned}$$

Фактическая интенсивность подачи огнетушащего средства:

$$J_{\phi} = \frac{Q_{\text{общ}}^{\phi}}{S_{\text{г}}} = \frac{49}{408} = 0,12 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Остальные параметры тушения пожара соответствуют нормативным значениям, поскольку они являются производными от фактической интенсивности (см. п. 1), равной требуемой:

$$J_{\phi} = J_{\text{тр}} = 0,12 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2);$$

$$q_{\text{уд}}^{\phi} = q_{\text{уд}}^{\text{H}} = 108 \text{ л}/\text{м}^2;$$

$$Q_{\text{общ}}^{\phi} = Q_{\text{общ}}^{\text{H}} = 49 \text{ л}/\text{с};$$

$$W_{\text{общ}}^{\phi} = W_{\text{общ}}^{\text{H}} = 44064 \text{ л};$$

$$\Pi_{\text{з.т}}^{\phi} = \Pi_{\text{з.т}}^{\text{H}} = 6,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{л}\cdot\text{мин}).$$

4. Оценка эффективности тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах

При наличии на объекте достаточного количества сил и средств с целью повышения эффективности тушения пожара РТП принял решение подать на тушение бензина в РВС-5000 четыре генератора пены типа ГПС-2000. Для обоснования подобного решения проведем расчет основных параметров тушения пожара, а также достигнутых при этом положительных результатов.

С учетом технической характеристики генераторов пены типа ГПС [7] расход раствора пенообразователя из каждого генератора ГПС-2000 при напоре 0,6 МПа составляет $q_{\text{ГПС-2000}} = 20 \text{ л}/\text{с}$.

Тогда общий расход раствора пенообразователя из всех поданных генераторов пены составит:

$$Q_{\text{общ}} = n q_{\text{ГПС-2000}} = 4 \cdot 20 = 80 \text{ л}/\text{с}.$$

При этом получим, что

$$J_{\phi} = Q_{\text{общ}}/S_{\text{г}} = 80/408 = 0,196 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2).$$

Используя уравнение (4), определим время тушения пожара:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{т}} &= C \ln \left[1 \cdot \left(\frac{1 - J_{\text{н}}}{2,3 J_{\phi}} \right)^{-1} \right] = \\ &= 4,38 \ln \left[1 \cdot \left(\frac{1 - 0,08}{2,3 \cdot 0,196} \right)^{-1} \right] = 8,56 \text{ мин}, \end{aligned}$$

где 43,8 — значение коэффициента пропорциональности C , определенное по таблице при времени свободного развития пожара 6 ч.

Удельный расход огнетушащего средства

$$q_{\text{уд}}^{\phi} = J_{\phi} \tau_{\text{т}} = 0,196 \cdot 8,56 \cdot 60 = 100,7 \text{ л}/\text{м}^2.$$

Общие затраты раствора пенообразователя для тушения пожара

$$Q_{\text{общ}}^{\phi} = q_{\text{уд}}^{\phi} S_{\text{г}} = 100,7 \cdot 408 = 41086 \text{ л}.$$

Значение показателя эффективности тушения пожара

$$\Pi_{\text{з.т}}^{\phi} = \frac{1}{q_{\text{уд}}^{\phi} \tau_{\text{т}}} = \frac{1}{100,7 \cdot 8,56} = 11,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{л}\cdot\text{мин}).$$

Полученные фактические параметры тушения пожара, характеризующие значительное повышение

эффективности тушения пожара, позволяют обосновать решение РТП по использованию для тушения четырех генераторов пены типа ГПС-2000 с общей интенсивностью подачи огнетушащего средства, значительно превышающей расчетное значение, рекомендуемое в п. 1.

Так, например, для данного случая тушения пожара принятное решение РТП позволило:

- повысить эффективность тушения пожара на:

$$\Pi_{\text{эф}} = \left[\frac{\Pi_{\text{э.т}}^{\Phi} - \Pi_{\text{э.т}}^{\text{н}}}{\Pi_{\text{э.т}}^{\text{н}}} \right] \cdot 100 = \\ = \left[\frac{11,6 \cdot 10^{-4} - 6,17 \cdot 10^{-4}}{6,17 \cdot 10^{-4}} \right] \cdot 100 = 88\%;$$

- сократить время тушения пожара на:

$$\Delta\tau_{\text{н}} = \tau_{\text{н}} - \tau_{\text{т}} = 15 - 8,56 = 6,44 \text{ мин};$$

- снизить общие затраты раствора пенообразователя на тушение пожара на:

$$\Delta W_p = W_{\text{общ}}^{\text{н}} - W_{\text{общ}}^{\Phi} = 44064 - 41086 = 2978 \text{ л};$$

- спасти от уничтожения огнем бензина в объеме:

$$\Delta V_6 = 0,005 \Delta \tau_{\text{н}} S_r = 0,005 \cdot 6,44 \cdot 408 = 13,139 \text{ м}^3,$$

где 0,005 м/мин — линейная скорость выгорания бензина [7].

Из высказанного можно сделать вывод о том, что при тушении пожаров нефтепродуктов в резервуарах типа РВС практически целесообразно подавать огнетушащее средство с интенсивностью выше нормативной, исходя из существующих возможностей.

Выводы

1. На основании анализа и обобщения накопленных материалов по вопросу тушения пожаров в резервуарах типа РВС разработана методика для определения расчетным путем основных параметров тушения нефтепродуктов воздушно-механической пеной средней кратности.

2. Анализ пожаров нефтепродуктов с использованием разработанной методики показывает, что практически целесообразно повышать интенсивность подачи пенных средств сверх нормативных требуемых значений [7].

3. Практическое использование методики позволит планировать тушение пожаров нефтепродуктов в стальных вертикальных резервуарах с заданной эффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М. : АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Абдурагимов И. М., Андросов А. С., Исаева Л. К., Крылов Е. В. Процессы горения. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1984. — 270 с.
3. Котов А. А., Петров И. И., Реутт В. Ч. Применение высокократной пены при тушении пожаров. — М. : Изд-во лит. по стр-ву, 1972. — 112 с.
4. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 228 с.
5. Справочное пособие по пожарной тактике. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1975. — 86 с.
6. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : ЗАО "Спецтехника", 2000. — 367 с.
7. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках. — М. : ГУГПС МВД России, 2000.
8. Оценка эффективности и качества тушения ТГМ / И. М. Абдурагимов // Труды ВИПТШ МВД СССР. — М., 1978.

*Материал поступил в редакцию 14 января 2010 г.
Электронный адрес авторов: nbrus@ultranet.ru.*



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 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

Апрель 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.	Выходит в апреле 2010 г.	
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.	Выходит в апреле 2010 г.	
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 мае 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.	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
Пилиugin Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Подстаков В. В., Теребнев В. В.	Подготовка пожарных-спасателей. Противопожарная служба гражданской обороны. — 2007. — 288 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	345
Собурь С. В.	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
Собурь С. В.	Краткий курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — Изд. 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

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Теребнев В. В.	Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: справочник. — 2007. — 256 с.: ил.	5-902604-06-0	330
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В.	Здания повышенной этажности: учебное пособие. — 2006. — 240 с.	5-903049-06-0	300
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., 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 “Пожнauка” продолжает подписку на 2010 г. на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”.

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

Подписка осуществляется через следующие агентства:

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

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ, распространяющих литературу "Издательства "Пожнаука"

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

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 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.

Quantitative Estimation of Fire Risk at Educational Institutions

Kolodkin V. M., Dr. of Technics, Professor, Director of the Institute of Civil Defence of Udmurt State University, Izhevsk, Russia

Varlamov D. V., Postgraduate Student of Udmurt State University, Izhevsk, Russia

Malych D. M., Assistant of Udmurt State University, Izhevsk, Russia

For quantitative calculation of fire risk level including the size of fire risk in buildings and constructions of educational institutions authors offer to use the resources of problem-oriented service "Risk-analitic OU". This service supports mathematical modelling of fire spread in building and evacuation process in case of fire. Assessments of fire safety level, calculated by the results of modelling, are presented in Certificate of fire safety. Service is accessible by network.

Key words: educational institution, fire risk, frequency, mathematical models of fire and people evacuation.

Fire Safety Regulations. Problem of System

Krasavin A. V., Cand. of Technics, Undergraduate Student of Russian Academy of Public Administration under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

Main problems of application of Federal Law "Technical enactment about fire safety requirements" are analysed. Reasonability of changes introduction into current technology of development and harmonization of Special technical specifications is examined. Ways of improvement of enactments and normative documents in fire safety ensuring sphere are proposed.

Key words: Technical enactment, substantiation of safe evacuation, Special technical specifications.

Analysis of Lightweight Powdered Metals Combustion Characteristics in Mixture with Air, Water and Carbon Dioxide

Malinin V. I., Dr. of Technics, Professor of Perm State Technical University, Perm, Russia

Serebrennikov S. Yu., Dr. of Technics, Professor of Perm State Technical University, Perm, Russia

Berbek A. M., Postgraduate Student of Perm State Technical University, Perm, Russia

The analysis of lightweight powdered metals (aluminum, magnesium, boron) combustion in the air, water vapor and carbon dioxide, was taken out, revealing peculiarities of the named metals as fuel. These peculiarities (high chemical activity, substantial heat release in reactions of combustion) make the given metals nothing less explosive and flammable, than hydrocarbon fuel vapors. The analysis showed, that the application of traditional fire extinguish means (water and carbon dioxide) to burning objects, that contain powders of Al, Mg and B, will cause substantial increase in temperature of fire zone, release of explosive and toxic gases (hydrogen and carbon monoxide) and much more severe consequences. The peculiarities revealed should be taken into consideration in planning fire precautions.

Key words: powdered metals, aluminum, magnesium, boron, air, nitrogen, water, carbon dioxide, chemical activity, heat release, hydrogen, carbon monoxide, explosive and toxic gases.

Definition of Evaporation Enthalpy and Antoine's Equation Parameters for Pharmaceuticals Using Differential-Thermal Analysis (DTA)

Vasin A. Ya., Dr. of Technics, Professor of Personal and Social Safety Department of University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Anosova Ye. B., Assistant of Personal and Social Safety Department of University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Marinina L. K., Cand. of Chemistry, Professor of Personal and Social Safety Department of University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

The results of definition enthalpies of evaporation for six substances — semiproducts of synthesis new pharmaceutical preparations using of the differential-thermal analysis (DTA) are presented. Factors of the Antoine's equation, connecting pressure of sated steam value of melting substances with temperature (in a narrow temperature interval) are defined, based on the received dates. Possibility of calculation preliminary temperature of ignition of the firm fusible connections, evaporating at heating, with use of the equation of Antoine considered. Satisfactory results are received.

Key words: differential-thermal analysis, derivatogramme, enthalpy of evaporation, Antoine's equation, temperature of ignition.

Flame Retardants and Coverages Based on Aminealdegidic Oligomers (Literary Review)

Balakin V. M., Cand. of Chemistry, Professor of Plastic Refining Technology Department of Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Polishuk Ye. Yu., Cand. of Technics, Senior Lecturer of Chemistry and Burning Processes Department of Ural Institute of State Fire-Prevention Service Emercome RF, Yekaterinburg, Russia

Rukavishnikov A. V., Postgraduate Student of Plastic Refining Technology Department of Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Seleznev A. M., Postgraduate Student of Plastic Refining Technology Department of Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Problem of increase of building materials fire safety is urgent in present time in spite of flame retardants variety for wood and metal constructions. Most wide application in flame retardants and coverages production has aminealdegidic oligomers. The literary review is covers problem of creation and usage of flame retardants on the basis of these substances.

Key words: aminealdegidic oligomers, flame retardant, fire safety.

Polymeric Compositions Based on Polyvinyl Chloride Containing Plasticizers-Fire Retardants

Lirova B. I., Cand. of Chemistry, Assistant Professor of the Chair of High-Molecular Compounds of Ural State University Named by A. M. Gorkiy, Assistant Professor, Yekaterinburg, Russia

Lyutikova E. A., Senior Research Assistant of the Department of Chemical Material Science SRI of Physics and Applied Mathematics of Ural State University Named by A. M. Gorkiy, Yekaterinburg, Russia

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

Safronyuk N. R., Undergraduate of Ural State University Named by A. M. Gorkiy, Yekaterinburg, Russia

The migration processes of plasticizers from PVC compositions, containing the mixtures of di-(2-ethylhexyl)-o-phthalate with phosphorus-bearing burning inhibitors — fire retardants of various chemical compositions are studied by the methods of IR-spectroscopy and gravimetry. The correlation between the diffuse properties

of plasticizers, intermolecular interaction of the system components and refractoriness of polymer material is established.

Key words: PVC, plasticizers, fire retardants, migration, refractoriness.

Modern Fire-Retardant Materials and Their Conformity with “Technical Enactment About Fire Safety Requirements”

Scientific group SPU “NORT”

Problem of shortage of fire-retardant materials which assure decrease of fire risk of building and finishing materials till KM1 and KM2 classes in accordance with Technical enactment is presented. Inability of most well-known fire-retardant wood impregnations produced on “salt” basis to decrease fire risk class of building and finishing materials is accentuated. Information about application of SPU “NORT” production in accordance with Technical enactment which solves many problems of fire safety is also presented. The mechanisms of action of SPU “NORT” fire retardants and technology applying in fireproof doors “NORTPOST” are disclosed.

Key words: fire retardant, fire retardant for wood, impregnations, covers, lacquers, paints, fire risk class, building and finishing materials.

Fire Resistance of Technological Systems

Suchkov V. P., Dr. of Technics, Associate Professor of Department of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Shvyrkov S. A., Cand. of Technics, Associate Professor, Head of Department of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Habibulin R. Sh., Senior Lecturer of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Rubtsov D. N., Lecturer of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Yuryev Ya. I., Engineer of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Necessity of scientific direction development relating to fire safety securing of technological systems of gas and oil branch objects is substantiated. The direction is based on examination of technological systems fire resistance.

Key words: fire resistance, technological systems, stability, thermal influence.

Problem of Wildland Fire Behaviour Prediction

Volokitina A. V., Dr. of Agricultural Sciences, Leading Research Assistant of Forest Pyrology Laboratory of Institute of Forest Named by V. N. Sukachev, Siberian Branch of RSA, Krasnoyarsc, Russia

Sofronov M. A., Dr. of Agricultural Sciences, Leading Research Assistant of Forest Pyrology Laboratory of Institute of Forest Named by V. N. Sukachev of Siberian Branch of RSA, Krasnoyarsc, Russia

Korets M. A., Cand. of Technics, Head of Geoinformation Systems Laboratory of Institute of Forest Named by V. N. Sukachev, Siberian Branch of RSA, Krasnoyarsc, Russia

Possibilities of wildland fires behavior prediction (including forest fires) are considered for more successful fire management. Existing mathematical fire behavior models are analyzed. Special attention is focused on practical creation of information databases for mathematical models in the mode of maps. There is information about foreign national systems of fire behavior prediction (US and Canada) as well as about creation of the Russian system at the Sukachev Institute of Forest and about testing its elements.

Key words: wildland fires, forest fires, fire behavior, prediction, mathematical modeling, programming, information database, vegetation fuel maps.

Pulse Equipment in Chernobyl

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

Experience of liquidation of Chernobyl accident consequences in the most of “hot” places of Chernobyl area — Red forest is examined. Successful attempts of applying new fire prevention and extinguishing technology for forest ignitions and fires are described. Further prospects of the technology development are examined. Analysis of modern methods and technique of accident consequences liquidation is given. Recommendations on improvement are substantiated; new method and technique are proposed.

Key words: Chernobyl area, Red forest, suppression of forest ignitions, explosive pointed spraying, fire extinguishing compositions, moistened sand, conical pulse vortex, penetrating evaporation into condensed burning zone, sedimentary radioactive dust, localization.

Foaming Properties of Water Solutions of Sodium Alkylsulphates

Evtukhov S. A., Cand. of Technics, Associate Professor of Chemistry and Combustion Processes Department of Ural Institute of SFS Emercome of Russia, Yekaterinburg, Russia

Uritskaya A. A., Cand. of Chemistry, Associate Professor of Chemistry and Combustion Processes Department of Ural Institute of SFS Emercome of Russia, Yekaterinburg, Russia

Paznikova S. N., Cand. of Technics, Chief of Chemistry and Combustion Processes Department of Ural Institute of SFS Emercome of Russia, Yekaterinburg, Russia

The basic experimental data on definition of the foam formation ability of the some representatives of sodium alkylsulphates family are resulted in the present work. The empirical equations showing the influence of concentration of the surface-active substances, lengths of a hydrocarbon chain, the nature and active valence of the electrolytes on the efficiency of the foaming process of sodium alkylsulphates are received.

Key words: sodium alkylsulphates, foams stability, foam formation characteristics, concentration of surface-active substances, electrolytes.

Calculation Methods of Main Parameters of Combustible Liquids Fire Extinguishing in Tanks

Brushlinsky N. N., Dr. of Technics, Professor, Chief of SIC of Complex System Safety Control of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Usmanov M. H., Cand. Of Physics-Mathematical Sciences, Associate Professor, Chief of SIC of Fire Safety Problems of Higher Technical School of Interior Department of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Pulatov D. O., Engineer, Research of Higher Technical School of MIA of RUZ, Tashkent, Uzbekistan

Semenov V. P., Engineer, Research of Higher Technical School of MIA of RUZ, Tashkent, Uzbekistan

New calculation methods of main parameters of combustible liquids fire extinguishing in tanks ensuring more rational and effective extinguishing are examined in this article.

Key words: method, parameters of extinction, reservoir.

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

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

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

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

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

профессор Т. Дж. Шилдс

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

Редакция:

Главный редактор журнала

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

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редакторы:

Л. В. Крылова, Т. В. Сергунина

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

Chairman of Editorial Council:

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

Deputy of Chairman of Editorial Council:

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

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

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

Editorial Council:

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

Dr.Sc.(Eng.), Professor N. M. Barbin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian Federation N. N. Brushlinsky

Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev

Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko

Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences A. V. Mishuev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy V. M. Roitman

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science B. B. Serkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, National Academy of Fire Science N. G. Topolskiy

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science Yu. N. Shebeko

Professor Thomas Jim Shields

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member of the Russian Academy of Natural Sciences V. V. Kholshchevnikov

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editors:

L. V. Krylova, T. V. Sergunina

PR and Subscription Section:
E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34

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

E-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 05.04.10.

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 "Вся пресса", ООО "Интер-почтa", ООО "Урал-Пресс XXI",

ООО "Артос-ГАЛ", ООО "Информнаука", ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА"

Вы можете также отдельно подписатьсь на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. (в том числе НДС — 18 %). Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Расширяя тематику журнала, в 2010 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

**Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания
по тематике журнала и содержанию публикуемого материала.
Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!**



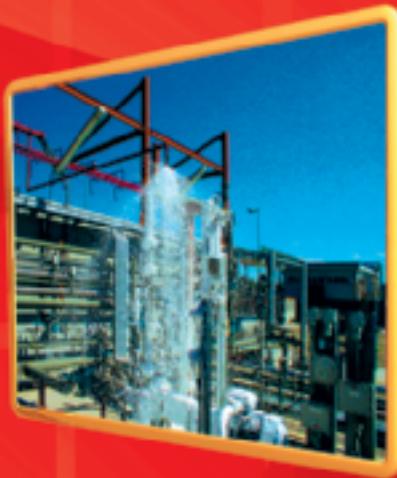
Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь**
типа AFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности.
Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности.
С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

ISSN 0869-7493

