

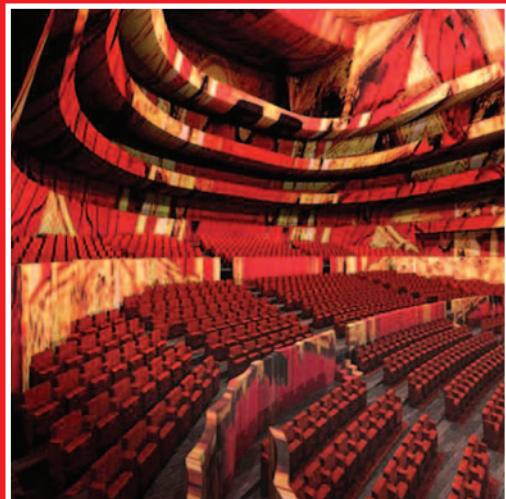
ПОЖАРОВЗРЫВО БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ **5'2007**

**Логика как необходимый элемент
в подготовке спасателей**

**Механизм действия огнезащитных
систем для древесины**

**Условия распространения
торфяного пожара**



**Аэромобильное противопожарное
средство для высотных объектов**

**Современные биоремедиационные
технологии**

**Проектирование противопожарной
защиты уникальных и технически
сложных объектов**



Пожнаука

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 16 • №5 • 2007

FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Карасёв Е. В. Защита от последствий пожара. Декларированная функция или обязанность государства?	3
Ощаповский В. В., Коваль М. С., Логвиненко В. М., Поцюрко О. Ю. Логика как необходимый элемент в подготовке спасателей	6
Гундар С. В., Денисов А. Н. О кодексе управления пожарами	10

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Пузач С. В., Лебедченко О. С., Воробьёв Н. С. Модельная задача определения коэффициентов участия водорода в горении и взрыве	16
Барботько С. Л. Оценка погрешности математической модели тепловыделения при горении полимерных материалов	19

ОГНЕЗАЩИТА

Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Кулаков В. С., Крашенинникова Н. Н., Сахаров А. М., Сахаров П. А. Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины	23
Еремина Т. Ю., Крашенинникова М. В., Дмитриева Ю. Н., Семёнов Д. С. Нормируемые требования к качеству огнезащитных покрытий при сдаче строительных объектов и применение методов термического анализа для прогнозирования долговечности покрытий	31
Вшивков С. А., Пазникова С. Н., Русинова Е. В., Евтухов С. А. Фазовое равновесие и структура систем полиметилметакрилат – антиприрены класса фосфатов	34
Балакин В. М., Литвинец Ю. И., Полищук Е. Ю., Рукавишников А. В. Изучение огнезащитной эффективности азотфосфорсодержащих составов для древесины	39

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Субботин А. Н. Распространение торфяного пожара при разных условиях тепломассообмена с внешней средой	42
--	-----------

(продолжение на следующей странице)

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Рудниченко В. А., Горлач П. Г.** Применение вейвлет-преобразования для повышения уровня радиационной безопасности **50**

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

- Еремина Т. Ю., Петренко С. А.** Проектирование противопожарной защиты уникальных и технически сложных объектов при разработке специальных технических условий **54**

СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ

- Афанасьев С. В., Коротков Р. В., Старков Н. Н., Триполицын А. А.** Состав для пожаротушения **61**

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

- Подзирей Ю. С.** Аэромобильное противопожарное средство для высотных объектов **64**

- Старков Н. Н., Россиев М. В.** Концепция создания пожарного робота-разведчика **68**

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

- Воевода С. С., Крейтор В. П., Бузюк В. В.** Тушение углеводородов пленкообразующими пенами **71**

- Корольченко Д. А.** Современные биоремедиационные технологии **75**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК **79**

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



Старший преподаватель
кафедры "Государственного надзора"
Ивановского института ГПС МЧС РФ
Е. В. Карасёв

УДК 614.84.2

ЗАЩИТА ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЖАРА. ДЕКЛАРИРОВАННАЯ ФУНКЦИЯ ИЛИ ОБЯЗАННОСТЬ ГОСУДАРСТВА?

Рассматривается проблема обеспечения прав граждан, понесших имущественный вред вследствие возникновения и развития пожара. Приводится обоснование необходимости создания предпосылок для доказывания условий ответственности причинителя вреда органами дознания Федеральной противопожарной службы (ФПС).

Забота о человеке, его безопасности, обеспечении прав личности является важнейшим принципом социальной политики демократического государства. Безопасность есть состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз [1]. Обеспечение безопасности является основным направлением деятельности государства, и Конституция РФ, как основной закон, действующий на территории нашей страны, устанавливает обязанность государства обеспечивать безопасность личности и собственности. Общественная безопасность неразрывно связана с пожарной безопасностью, обеспечение последней реализуется через создание системы обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) [2]. СОПБ включает 15 функций, первой из которых является нормативное правовое регулирование и осуществление государственных мер в области пожарной безопасности. Бремя ее реализации ложится, прежде всего, на Государственную противопожарную службу. Граждане имеют право на защиту их жизни, здоровья и имущества в случае пожара, возмещение причиненного им ущерба в порядке, установленном действующим законодательством.

Как известно, пожаром называется неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Ключевыми в данном определении являются понятия *горение* и *вред*. Под вредом понимаются неблагоприятные изменения в охраняемом законом благе, которое может быть как имущественным, так и неимущественным (нематериальным). Можно сказать, что защита от пожара — это, в первую очередь, защита от вреда, который

может быть им причинен. Если пожар произошел, то единственным единственным способом защиты нарушенного права пострадавшего является возмещение вреда от пожара, поскольку оно является универсальным гражданско-правовым способом защиты нарушенных прав. Это положение закреплено в ст. 52 Конституции РФ и дальнейшее свое развитие получило в Гражданском кодексе РФ.

Возмещение вреда от пожара возможно в порядке гражданского, арбитражного или уголовного судопроизводства. Независимо от процессуальной формы общими являются условия ответственности причинителя вреда. Ответственность по гражданскому праву представляет собой применение к правонарушителю мер принуждения — санкций, которые имеют имущественное содержание. Обязательство возникает из факта правонарушения, повлекшего пожар. Следовательно, ответственность составляет содержание обязанности правонарушителя в обязательстве, возникшем вследствие причинения вреда.

При наличии вреда как основания деликтной ответственности для применения мер принуждения к правонарушителю необходимо установить наличие условий деликтной ответственности [3].

Условия деликтной ответственности — это обязательные общие требования, соблюдение которых необходимо в случае применения к правонарушителю соответствующих мер ответственности — санкций, т.е. для принуждения его к исполнению обязанности возместить вред.

Деликтное обязательство и, соответственно, ответственность за причинение вреда возникают при наличии следующих условий:

- противоправность поведения лица, причинившего вред;
- причинная связь между противоправным поведением причинителя вреда и возникшим вредом;
- вины лица, причинившего вред.

Гражданское законодательство закрепляет правило о презумпции вины причинителя вреда, т.е. причинитель вреда всегда предполагается виновным, пока не докажет обратного.

На первый взгляд проблема не кажется столь острой. Действительно, институт возмещения вреда, уходящий своими корнями к римскому праву и постоянно совершенствующийся, трудно назвать непроработанным. Положения гл. 59 ГК РФ яркое тому подтверждение. В данной статье затрагивается проблема установления и доказывания перечисленных выше условий деликтной ответственности применительно к правоотношениям, устанавливющимся между причинителем вреда и пострадавшим от пожара, ввиду особой сложности этой категории дел. Как показывает судебная практика, большинство исков о возмещении вреда, причиненного пожаром, не удовлетворяются ввиду недоказанности причинной связи между противоправным поведением причинителя вреда и возникшим вредом, противоправности поведения лица, причинившего вред, и реже вследствие недоказанности размера вреда. Причина формирования слабой доказательной базы истца объяснима. У большинства людей складывается убеждение, что пожар — явление экстраординарное, сродни стихийному бедствию, которое образуется само по себе и в процессе своего развития уничтожает всю информацию о месте первоначального возгорания, причинах возникновения пожара и его распространения, виновных лицах и т.д. Тем не менее статистические данные свидетельствуют о том, что 98% всех регистрируемых пожаров возникают по вине человека, что не позволяет относить это явление к сугубо природному феномену.

Возможность возмещения ущерба пострадавшим от пожаров находится в прямой зависимости от обоснованности их исковых требований. Обосновать же исковые требования можно только в том случае, если в результате расследования пожара были обнаружены и закреплены сведения о фактах, которые могли бы служить доказательствами.

Отстаивая свои исковые требования, истец должен иметь возможность опираться на факты, не только устанавливающие непосредственную причину пожара, но и объясняющие причины его развития и, как следствие, наступления вреда. Нетрудно предположить, что установление этих фактов практически невозможно без помощи квалифицированных специалистов в области расследования

(исследования) пожаров. Именно представители Государственной противопожарной службы имеют в своем арсенале необходимый набор административно- и уголовно-правовых, а также судебно-экспертных средств, позволяющий создать мощную доказательственную базу уже на первоначальных этапах расследования независимо от продиктованного законом выбора правового режима.

Особо следует отметить высокую значимость информации, полученной на начальном этапе работы по расследованию пожаров. От результатов деятельности на этапе проверки по факту пожара во многом зависит результат выявления преступления и изобличения виновных лиц и, как следствие, возможность возмещения вреда пострадавшим от пожара. Если в самом начале при исследовании места пожара и других объектов полноценная информация не собрана, то в дальнейшем (например, на стадии судебного разбирательства), когда не будет возможности повторно обратиться к месту происшествия, дело может остаться неразрешенным по существу. Проверка по факту пожара осуществляется, прежде всего, с целью квалификации происшествия. Другими словами, необходимо найти достаточные данные, указывающие на признаки преступления, либо, при их отсутствии, на признаки административного правонарушения. Для этого необходимо собрать и оценить первичную информацию о происшествии, связанном с пожаром.

Следовательно, первым этапом работы органов дознания ФПС при установлении условий ответственности причинителя вреда является определение предмета доказывания, т.е. установление юридически значимых фактов. Второй этап — установление противоправности поведения лица, причинившего вред. Следует отметить, что выполнение работы по установлению условий гражданско-правовой ответственности причинителя вреда не предполагает представительства сотрудника ФПС в суде при разрешении иска со всеми вытекающими процессуальными обязанностями. Должностное лицо ФПС МЧС РФ, осуществляющее расследование пожара (прверочные действия, предварительное либо административное расследование), в рамках своего правового статуса обязано установить обстоятельства, подлежащие доказыванию по уголовному либо административному делу, уделяя при этом особое внимание установлению и фиксации тех фактов, которые позволят пострадавшей стороне обосновать исковые требования о возмещении причиненного пожаром вреда.

Выполнение дознавателем указанной работы не является выходом за рамки его полномочий и не предполагает заведомой субъективности должностного лица, оказывающего услуги пострадавшей

стороне. Нередко пострадавшие от пожара являются виновниками его возникновения. Нарушения правил пожарной безопасности пострадавшей стороной довольно часто служит причиной быстрого развития пожара и наступления тяжких последствий для нее же самой, хотя возникновение горения возможно и не связано с действиями пострадавших. С точностью установить виновника возникновения или развития пожара, а также пострадавшего от него бывает порой непросто. Тем не менее дознаватель устанавливает обстоятельства пожара, которые, с одной стороны, позволяют как минимум квалифицировать произшедшее событие, с другой, являются предпосылками обоснования требований о возмещении причиненного пожаром вреда.

На сегодняшний день проблема заключается в отсутствии какого-либо подзаконного нормативного правового акта, детально регламентирующего круг обстоятельств, подлежащих выяснению дознавателем ФПС по факту каждого пожара. Не смогли закрыть этот пробел ни утративший силу приказ МЧС России от 15.06.2004 г. № 283 [4], ни вступивший в силу приказ МЧС России от 02.05.2006 № 270 [5]. В связи с этим нельзя обойти стороной “Наставление по организации и осуществлению государственного пожарного надзора в Российской Федерации” (приказ МВД РФ от 25.05.95 № 10), которое детально регламентировало предмет доказывания по делу о пожаре (п. 4.5.3.), раскрывало и детализировало содержание ст. 68 УПК РСФСР “Обстоятельства, подлежащие доказыванию по уголовному делу”. К глубокому сожалению, эта конструкция не нашла пока своего отражения в ныне действующей Инструкции, что, безусловно, сказывается на качестве и эффективности работы дознавателя. Поэтому есть необходимость в продолжении исследований по созданию проекта нормативного документа, регламентирующего

обстоятельства, подлежащие доказыванию по делу о пожаре, а также определение вида и размера вреда от пожара.

Выводы

- Основной функцией государства является обеспечение безопасности и прав личности. Именно государство от имени общества должно нести бремя помочь пострадавшим от пожара. Помощь, как упоминалось выше, заключается в создании объективных предпосылок для доказывания всех обстоятельств пожара, которые, в свою очередь, могут лieчь в основу исковых требований пострадавших.

- Реализация функции обеспечения прав пострадавших от пожара является задачей органов дознания и судебно-экспертных учреждений ФПС, так как эта служба имеет организационно-правовые и экспертные средства оперативного установления всех обстоятельств пожара.

- Установление обстоятельств пожара позволяет создавать предпосылки для доказывания условий гражданско-правовой ответственности причинителя вреда.

- Для реализации государственной функции обеспечения прав пострадавших от пожара необходимо продолжить исследования по созданию проекта нормативного документа, регламентирующего деятельность лиц, осуществляющих расследование пожаров, по установлению противоправности поведения лица, причинившего вред, причинной связи между противоправным поведением причинителя вреда и возникшим вредом, а также характера и размера вреда от пожара.

ЛИТЕРАТУРА

- Закон РФ от 5 марта 1992 г. № 2446-1 “О безопасности” (с изм. от 25 декабря 1992 г.), раздел I, ст. 1.
- Закон РФ от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ “О пожарной безопасности”, абз. 1.
- Брагинский, М. И.** Договорное право. Общие положения / М. И. Брагинский, В. В. Витрянский. — М., 1997. — С. 570.
- Инструкция о порядке приема, регистрации, разрешения и учета сообщений о преступлениях и иной информации, связанной с пожарами (утв. приказом МЧС РФ от 15.06.2004 г. № 283, приказ зарегистрирован в Минюсте РФ 16.09.2004 г., рег. № 6028), утратила силу.
- Инструкция о порядке приема, регистрации и проверки сообщений о преступлениях и иных происшествиях в органах Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (утв. приказом МЧС России от 02.05.2006 г. № 270, зарегистрирован в Минюсте России 02.06.2006 г., рег. № 7904).

Поступила в редакцию 09.08.07.



Канд. хим. наук, ст. преподаватель Львовского государственного университета безопасности жизнедеятельности
В. В. Ощаповский



Канд. пед. наук, доцент, первый проректор Львовского государственного университета безопасности жизнедеятельности
М. С. Коваль



Канд. филос. наук, ст. преподаватель Львовского государственного университета безопасности жизнедеятельности
В. М. Логвиненко



Аспирант Львовского национального университета им. И. Франко
О. Ю. Поцюрко

УДК 614.82-87 + 167.6

ЛОГИКА КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ В ПОДГОТОВКЕ СПАСАТЕЛЕЙ

Проанализирована ситуация с учебно-образовательной подготовкой специалистов-спасателей. Показана необходимость расширения области специальной подготовки специалистов спасательных служб в связи с увеличением масштабности катастроф и различного рода ЧС, а также с возрастанием цены ошибки в действиях людей. Объем технических и фундаментальных знаний все больше превышает естественные возможности мозга принимать и обрабатывать новую информацию. Все это мешает правильно и быстро реагировать на усложняющуюся ситуацию, которая может выйти из-под контроля. В качестве одного из способов повышения эффективности работников МЧС, уменьшения риска принятия неверных решений, дискриминации и элиминации ошибочных версий и прогнозов предложено ввести в курс обучения и специального тренинга спасателей науку логику либо расширить разделы учебных дисциплин, где она преподается.

В последнее время все более частыми и масштабными становятся различного рода катаклизмы и катастрофы природного и, особенно, техногенного происхождения. Возрастает экологическая составляющая их последствий. Все более несовместимыми с окружающей средой оказываются и вещества (продукты и отходы), в нее попадающие (Бхопал, Индия, 1985; Китай, 2005). Разнообразятся и усложняются аварии на техноэнергосистемах (Россия, 2005; Япония, 2007 и т.д.). Соответственно, растут требования к качеству, многообразию и всесторонности подготовки работников аварийно-спасательных и иных служб, которые должны быть на уровне развития техники и технологий.

Высокая концентрация энергопотребляющих отраслей тяжелой промышленности (металлургической, химической, нефтеперерабатывающей, цементной и т.д.), мобильной и быстро перестраивающейся в условиях рынка легкой промышленности, использование потенциально опасных веществ химического и биологического происхождения и радионуклидов, зарождение новых “высоких” технологий (техногенные опасности которых пока еще не распознаны и не изучены в достаточной мере) — это характерные черты обновляющегося промышленного облика не только нашей страны, но и значительного числа государств планеты.

Это приводит к рискам возникновения техногенных ситуаций совершенно нового, доселе не встречающегося типа, когда знания и умения человека (специалиста и обычного жителя) просто не успевают обновляться и сильно отстают от требований времени. Уже сейчас чрезвычайные ситуации происходят в основном из-за недостатка необходимой информации, знаний, квалификации и населения, и работников аварийно-спасательных служб, из-за их слабого умения ориентироваться в принципиально новой обстановке, оценивать и предвидеть ее последствия.

Сложность техники, конструкций, строений, аппаратуры обслуживания и самих технологических процессов приводит к повышению сложности и многоплановости проблем, с которыми сталкиваются персонал предприятий и (в случае ЧП) практические работники МЧС. Им приходится решать задачи по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного и комбинированного характера, принимать ответственные решения по работе в труднопредсказуемых условиях ЧС, а также активно и оперативно действовать при ликвидации последствий ЧС.

Все это требует огромных знаний в различных областях жизнедеятельности человека, умения глубоко и системно анализировать информацию и тес-

но взаимодействовать со специалистами совершенно незнакомого ранее профиля, и технического, и гуманитарного; учитывать взаимосвязи между далекими отраслями деятельности человека, когда такие кооперации, возможно, ранее не имели места; принимать во внимание и делать умозаключения в принципиально отличных областях знаний в условиях дефицита времени и экстремальных режимов, а также груза большой ответственности, когда сильно вырастает цена ошибки.

В этих ситуациях нужны глубокие знания во многих областях науки и техники. Однако нет никакой гарантии, что эти знания не устареют раньше, чем их сможет применить специалист на практике. Сюда следует добавить жесткие требования по умению быстро принимать решения в экстремальной обстановке.

Таким образом, возникает проблема: как в ограниченное время (учебный процесс не бесконечен) дать огромный объем информации при отсутствии гарантии эту информацию запомнить, понять и уметь ею правильно воспользоваться при решении задач аварийно-спасательного характера, не совершив при этом существенных ошибок. По-видимому, традиционные способы подготовки специалиста-спасателя здесь себя почти исчерпали — нужен принципиально иной подход. Искать правильные пути решения поставленных задач — весьма длительная процедура перебора вариантов с рассмотрением “дерева ответвлений”. Гораздо быстрее и проще научить оператора исключать неправильные ответы.

Поэтому, на наш взгляд, одним из путей решения данной проблемы является развитие умения четко логически мыслить у студентов и курсантов соответствующего профиля, т.е. приблизить аппарат и процедуры науки логики к практике аварийно-спасательных задач. Это будет способствовать развитию у будущего специалиста не только рационального мышления и коммуникативных способностей, но и вооружит его эффективными логическими навыками решения профессиональных проблем.

Сегодня логика не только является неотъемлемой частью системы наук, но и выполняет вместе с тем многогранные функции в обществе. Ее роль и значение обусловлены особенностями развития самого общества, которые требуют осмыслиения новых сложных экономических и социальных процессов, что, в свою очередь, нуждается в развитии логического мышления. В связи с переходом науки и техники на более высокий уровень своего развития усиливается значение абстрактного мышления, чем и обуславливается повышение интереса к логи-

ке, исследующей структуру, формы и законы такого мышления.

Следует отметить, что вместе с наращиванием темпов развития экономики с помощью новых технологий эволюционирует и информация, которая не только усложняется, но и приобретает качественно новые функции, охватывая все сферы жизни человека, и тем самым отводит новую роль знаниям во всех видах человеческой деятельности. Информационная революция имеет существенную антропологическую составляющую, предполагая совершенствование не только техники или технологий, но и самого человека, и прежде всего его мышления [1]. “Очень важно понять, что технические достижения — это не просто различные комбинации машин и технологий. Значение новых изобретений в том, что они предполагают абсолютно новые решения социальных, философских, даже личных проблем. Они перекраивают интеллектуальное окружение человека — то, как он думает и смотрит на мир” [2, с. 25].

Таким образом, обоснование значимости логического мышления, как актуальной образовательной проблемы, вытекает из фундаментальной трансформации самого способа жизни человека. Поскольку возрастание значимости методов работы со все более усложняющимися информационными потоками не только посредством искусственных средств, но и средств самосовершенствующегося естественного интеллекта является актуальным, то обучение логическому мышлению можно рассматривать как одну из базовых форм подготовки к успешной жизнедеятельности.

Понимание новой незнакомой терминологии (филология), экономическая обоснованность действий (экономика), влияние на окружающую среду (экология), взаимодействие с людьми различного характера, подготовки и этнотипа в экстремальной ситуации (психология), работа с неизвестной техникой и т.д. — разные и достаточно далекие области знаний. Только объединив все это воедино и правильно используя, можно ожидать высокой эффективности деятельности специалиста-спасателя. Улучшить результативность работы здесь поможет использование элементов логики.

Необходимость увязать события в четкую логическую цепь (схему), вычленить главное, определить слабое звено, с тем чтобы его укрепить (профилактика), — важный момент в повышении эффективности образовательной и специальной подготовки специалиста-спасателя. Дополнительным аргументом в пользу более глубокого обучения (изучения) логическому мышлению (логике) является возможность связать воедино информацию, полученную из разных источников, из разных об-

ластей человеческой деятельности, разных видов профессий, которую другими методами трудно объединить и обобщить. Наконец, обучение логическим процедурам, правилам, законам (основным законам логики, умозаключению, доказательству и опровержению и пр.) позволит повысить эффективность и точность оценки ситуации, дискриминировать ошибочные выводы и прогнозы, а значит, снизить риски принятия неправильных решений при ликвидации ЧС (не только техногенного характера) и их последствий. Очень важным является умение, например, быстро и грамотно оценить версии определения причин пожара, возможное развитие ЧС в условиях скученности предприятий разного профиля и масштаба, спрогнозировать действия и последствия в сложной урбанистической обстановке и т.п.

Спасательные подразделения на практике часто имеют дело с различными видами энергии — химической, механической, тепловой, электрической и т.д. Каждый из видов обладает своими особенностями, в т.ч. переноса, воздействия, трансформации и управления. Например, пожарно-спасательные службы на практике часто ликвидируют чрезвычайные ситуации, вызванные различными проявлениями и воздействиями электричества. Специальные знания пожарным спасателям нужны для быстрой оценки соответствующей ситуации, возможного прогнозирования действий и учета последствий воздействия электрического тока различного происхождения и мощности. Руководитель ликвидации ЧС вряд ли знает все параметры движения электронов в различных средах (включая живые клетки организма) и характеристики электромагнитных полей на макро- и микроуровнях для принятия необходимых мер. Однако он обязан принять оптимальное решение по ликвидации последствий, принять и реализовать все необходимые мероприятия для безопасного проведения аварийно-спасательных работ, предусмотреть и предупредить поражения электрическим током населения и своих работников-спасателей, а также учитывать возможность наступления иных форс-мажорных обстоятельств, природного, технического и гуманитарного происхождения.

Дополнительным аспектом, который усложняет работу спасателей, является воздействие стресс-факторов различного рода [3]. Выполнение обязанностей работниками спасательных служб связано со значительным физическим, психологическим, эмоциональным и моральным напряжением, которое обусловлено следующими причинами:

- постоянным психологическим напряжением, вызванным работой в экстремальных ситуациях (высокая температура, значительные концент-

рации вредных или опасных для здоровья веществ, пыли, дыма, аэрозолей, ограниченная видимость, повышенный уровень шума и т.д.);

- постоянной угрозой жизни и здоровью спасателя (значительная вероятность обвалов строительных конструкций или природных объектов, взрывов паров, аэрозолей и газов, отравления вредными или опасными для здоровья веществами, которые могут образоваться и предусмотреть образование которых затруднительно или вообще невозможно);
- отрицательным эмоциональным воздействием (наличие погибших, травмированных, обожженных, шокированных и просто растерянных людей);
- высокими физическими нагрузками, связанными с разборкой завалов, демонтажем поврежденных конструкций и оборудования, спасением населения и материальных ценностей, прокладкой новых коммуникаций, работой со своим оснащением и оборудованием в новых, сложных условиях, повышенным темпом работы и отсутствием возможности нормального отдыха и восстановления сил;
- необходимости поддерживать интенсивность и концентрацию внимания на должном уровне, чтобы следить за изменением обстановки в зоне чрезвычайной ситуации, контролировать все источники опасности и быть готовым к любому развитию событий;
- трудностями, связанными с ограниченным пространством (проведение аварийно-спасательных работ в тоннелях, подземных галереях, газо-, водо- и кабельных коммуникациях), что осложняет передвижение и манипуляции средствами спасения;
- высокой ответственностью каждого спасателя при относительной свободе и самостоятельности принятия решения во время проведения спасательных работ;
- существованием значительного числа стохастических факторов, спонтанно возникающих и усложняющих функционирование спасательных подразделений.

Работа в подобных экстремальных условиях вызывает у спасателей различные фобии, что приводит к ослаблению физической и умственной деятельности (активности), потере усвоенной ранее информации (недостаточно закрепленных знаний) и, как следствие, неадекватным решениям.

Для преодоления профессиональных затруднений, если возникает проблема решения нетривиальной задачи при условии ограниченных временных ресурсов и естественных или искусственных препятствий (помех), здравый смысл часто оказы-

вается недостаточно эффективным. Обостряется необходимость обращения к логике, позволяющей оптимизировать процесс мышления и сознательно оценивать его течение с тем, чтобы избежать собственных ошибок.

Размышление над основными принципами и операциями мышления способствует развитию и совершенствованию не только собственно логических, но и других мыслительных навыков, что полезно для решения спасательных задач. Оно учит, в частности, умению обобщать, абстрагироваться и сосредотачиваться, раскрывать замысел некоторого целого, связывать его части, выявлять главное и отделять его от второстепенного и побочного, усматривать необычное в обыденном. “В процессе мышления человек либо находит то, что он искал, либо выносит суждение о том, что он нашел, либо запоминает то, о чем он вынес суждение, либо передает другим то, что он запомнил” [4, с. 279].

Самоусовершенствование мышления на основе определенных стандартов дает наука логика, а именно: умение собственное мышление адаптировать к мышлению других; стремление к ясности, точности и тщательности, где навыки работы должны постоянно развиваться и совершенствоваться (особенно в условиях различных чрезвычайных ситуаций); способность и готовность оценивать ситуацию и риски; отделять истину от лжи; самостоятельно находить решения; устанавливать личную ответственность.

Программа обучения курсантов и студентов спасательных служб должна предусматривать подготовку к динамике изменений, непредсказуемости, сложности, отсутствию одного выделенного направления, одним словом — привнести новые стандарты строгости в мышление, с тем чтобы помочь им выработать такую же строгость и точность в действиях.

Исходя из сказанного, целесообразно ввести в образовательную программу подготовки спасателей изучение логики, в частности теоретических знаний об основных формах мышления, таких как понятие, суждение, умозаключение; о логических

ошибках или уловках, путях их выявления, критики и исправления; об основных законах правильного мышления — законе тождества, законе непротиворечия, законе исключенного третьего, законе достаточного основания.

Необходимо выработать практические навыки, а именно: правильно анализировать наличествующую информацию; выдвигать правдоподобные гипотезы (версии) и проверять их; критиковать и исправлять различные ошибки; принимать логически обоснованные решения.

Особого внимания заслуживает логическая теория действий, основателем которой является Г. Х. фон Вригт. Логика действий — логический процесс перехода от мысли к практическим действиям — это особая логическая теория, которая относится к современным практическим логикам. В отличие от логики как науки, изучающей мышление через язык, логика действия изучает языковые выражения на семантическом уровне, которые фиксируют схемы практических действий людей или намерения к действиям [5], что имеет важное практическое значение.

Следует понимать также, что знание логических операций и процедур не является панацеей и совсем необязательно поможет работнику спасательных служб принять правильное и конструктивное решение, однако оно безусловно поможет избежать принятия неверных решений и неправильных, ошибочных действий в условиях ЧС.

Резюмируя, можно сказать, что использование элементов логики позволит работникам спасательных служб более грамотно и четко управлять своими действиями, действиями подчиненных и населения, уменьшить риск принятия ошибочных решений, более адекватно реагировать на изменяющуюся обстановку в районе чрезвычайной ситуации.

В этой связи есть смысл рассмотреть возможность дополнить (скорректировать) программу обучения курсантов и студентов, ввести изучение логики (либо отдельных ее разделов, например фрагментов булевой алгебры и пр.) в курсы специальных дисциплин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тягло, А. В.** Критическое мышление: проблема мирового образования XXI века / А. В. Тягло, Т. С. Воропай. — Харьков, 1999. — 285 с.
2. **Тоффлер, А.** Футурошок / А. Тоффлер. — СПб., 1997. — 464 с.
3. **Козяр, М. Н. / М. Н. Козяр, Б. Е. Билинский, Н. В. Ступницкая** // Сборник “Пожежна безпека”. — 2004. — № 4. — С. 45–49.
4. **Бэкон, Ф.** Сочинения в 2-х т. — Т. 1. — М., 1977. — 567 с.
5. **Вригт, Г. Х.** Логико-философские исследования / Г. Х. Вригт. — М., 1986. — С. 254–255.

Поступила в редакцию 23.07.07.



Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры "Пожарной тактики
и службы" Академии ГПС МЧС РФ

С. В. Гундар



Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры "Пожарной тактики
и службы" Академии ГПС МЧС РФ

А. Н. Денисов

УДК 614.841:632.187

О КОДЕКСЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРАМИ

Показано, что основные положения предлагаемого Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) ООН проекта "Кодекса управления пожарами" соответствуют отечественной концепции использования огня для целей охраны лесов от пожаров. Приведены оценка разрушительных последствий пожаров в зависимости от их вида и интенсивности, значения критических признаков пожара, характеризующих их влияние на выживание или гибель деревьев. Высказано предположение, что реализация нетрадиционного подхода к решению проблемы лесных пожаров требует точного определения количественных и стоимостных размеров потерь природы от огня, включая нетоварные ценности, и установления баланса между выгодой от использования огня и потерями от него.

Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) ООН предложен проект "Кодекса управления пожарами" (далее — Кодекс) [1], включающий мероприятия по хозяйственным методам использования огня для достижения целей землепользования, охраны лесов от пожаров и др.

Реализация положений Кодекса, по мнению разработчиков, должна создать базу для правовой защиты специалистов по управлению пожарами при использовании огня и определить условия, при которых разрешается проводить преднамеренный пал (профилактическое выжигание) или не тушить пожар. Специалистам не придется оправдываться за свои действия по использованию огня в лесу.

Проект Кодекса поддерживает концепцию, что предварительное выжигание части лесного горючего материала может и не повлиять на частоту возникновения пожаров, но гарантирует снижение их интенсивности и тем самым способствует повышению эффективности тактики пожаротушения. Поэтому могут быть «пожары во благо», когда сгорание части горючего материала уменьшает вероятность (риск) возникновения интенсивных пожаров, снижает потенциальный ущерб от них и затраты на тушение.

Отмечено, что обычно большинство экосистем не имеют адаптационных механизмов, которые позволяли бы им положительно реагировать на воздействие огня. В связи с этим предварительное выжигание и «пожары во благо» оказываются негативное воздействие на окружающую среду. В целях минимизации этого воздействия предлагается в предписаниях на применение огня сообщать наиболее благоприятные условия для выжигания части

горючего материала (температуру и влажность воздуха, направление и скорость ветра, влажность горючих материалов, приемлемые пределы параметров горения, порядок наблюдения и регулирования указанных параметров, границы территории использования огня и периоды его повторяемости и т.д.). В инструкциях для пожарных следует сообщать данные о тактике регулирования горения и признаках пожаров, которые можно относить к полезным на той или иной территории для окружающей среды и природных ресурсов и т.д.

Считается, что участие местного населения в обоснованном использовании огня для охраны территории от пожаров должно быть весьма полезным, если население понимает роль огня в лесу и необходимость своего участия в мероприятиях по управлению пожарами, а из представителей местного населения сформированы пожарные группы, которые подготовлены для принятия мер по тушению пожаров до прибытия пожарных.

Предложения зарубежных авторов не противоречат отечественной стратегии и представляют определенный интерес по следующим обстоятельствам.

Экономические условия нашего времени заставляют искать малозатратные методы охраны лесов от пожаров, пересматривать существующие взгляды на вред и полезность пожаров как для природы в целом, так и для человека. На смену идеи априорного зла от пожаров и постулата, что всякий пожар должен быть обнаружен и потушен, приходят экономические и экологические оценки целесообразности и возможности охраны лесов от огня [2–4].

Так, концепция [5] предусматривает:

- переход от методов организации тушения всех лесных пожаров к научно-обоснованному управлению огнем и ликвидации очагов возгорания в лесу (управление лесными пожарами);
- осуществление зонирования территории лесного фонда по уровню требуемой противопожарной охраны с учетом экономической и экологической ценности лесов, а также степени хозяйственного освоения территории и т.д.

Лесной план [6], подготовленный на основе отчетных данных по охране лесов, должен включать социально-экономическую оценку охраны лесов на территории субъекта Российской Федерации, основные направления в области охраны лесов, перечень мероприятий по осуществлению охраны лесов, финансово-экономическое обоснование этих мероприятий.

Правила и рекомендации [7–10] определяют порядок применения огня как полезного инструмента снижения количества горючих материалов при тушении пожаров отжигом и выполнения мероприятий по повышению пожароустойчивости лесов.

Объектом горения при предписанных профилактических выжиганиях и пожарах являются лесные экосистемы, обладающие саморегулирующими и самовосстанавливающими (самоорганизационными) свойствами.

К концу первого десятилетия XXI в. система управления безопасностью в целом будет основываться на концепции “не нулевого риска” [2] и будет решать задачу минимизации ущерба и поиска компромисса между необходимостью делать затраты на повышение уровня безопасности и ожидаемой выгодой, исходя из принципа “разумной достаточности” и экономических возможностей по их реализации. Считается, что одним из перспективных подходов обеспечения безопасности природных систем может являться метод, основанный на изучении и использовании внутренних свойств системы — процессов самоорганизации [11]. Учет синергетических начал позволит получать эффект обеспечения безопасности с меньшими затратами. Это требует определенного уровня соотношения самоорганизации и управления природными системами с применением вероятностных и детерминированных методов.

По мнению авторов статьи, профилактическими выжиганиями и контролируемыми пожарами реализуются концепция “не нулевого риска” и принцип “разумной достаточности” в лесах. Делается попытка повышения пожарной безопасности лесных территорий небольшими затратами при минимальных нарушениях функций лесов от прогора-

ния захламленных участков с использованием самоорганизующих процессов лесных экосистем.

Здесь необходимо отметить, что по Киотскому протоколу об изменении климата биомасса и продукты ее сгорания рассматриваются как часть природного карбонового цикла. Углекислый газ, образующийся в результате сжигания биомассы при производстве энергии, не относится к парниковым газам [12]. Это дает основание полагать, что влияние управляемых пожаров на состав атмосферы и изменение климата можно не учитывать.

В работе [13] сообщается о практике применения огня в лесном хозяйстве и об отсутствии в нормативных и правовых актах методики разделения лесных пожаров на пожары, наносящие, в основном, вред, которые надо тушить, и пожары, повышающие, в основном, пожароустойчивость лесов, которые тушить не следует. Из-за этого нетрадиционный подход к решению проблемы лесных пожаров менее понятен исполнителям и населению, что не способствует повышению эффективности его реализации.

Проект Кодекса предлагает предусматривать ответственность за вероятность и последствия возникновения пожаров между государством и частными землевладельцами, землепользователями, пожарной службой и населением. Для пропаганды концепции управления пожарами и качественного информирования граждан о том, что контролируемое использование огня может быть благоприятным фактором с экологической и экономической точек зрения, общаться со средствами массовой информации должны специалисты пожарной охраны, имеющие необходимый уровень подготовки. Некомпетентные люди могут сформировать незаслуженное негативное общественное мнение, что не будет способствовать воспитанию экологической грамотности населения, повышению пожарной безопасности в лесах и не принесет пользы ни гражданам, ни пожарной охране. Выработка правильной информационной политики во взаимодействии противопожарной службы со средствами массовой информации является одним из важных элементов системы пожарной безопасности [14].

Повышение культуры безопасности жизнедеятельности и уровня подготовки населения является важнейшей государственной задачей.

Природная способность лесов разделена на три функции: экономическую, экологическую, социальную [15, 16].

Экономическая функция — это природная способность лесов производить различные виды лесной продукции, которая имеет рынок спроса в экономических системах разных стран. На рынок поступают древесина, живица, древесный сок, яго-

ды, грибы, орехи, мех и мясо обитающих в лесу животных, ресурсы побочного пользования и др.

Экологическая функция — это природная способность лесов поддерживать баланс веществ в природе и улучшать его. Лес участвует в круговороте энергии и важных для жизни химических элементов и их соединений (воды, углерода, азота и др.). Растительность лесных экосистем преобразовывает лучистую энергию, поглощает из атмосферы углерод (основной компонент парниковых газов) и создает органическое вещество, впитывая корнями воду, выделяет кислород.

Лес, почвы и болота, где формируются залежи торфа, отнесены к самым емким резервуарам, консервирующими углерод. Так, скорость накопления торфа в среднем составляет 0,1–0,8 мм в год, слой торфа может достигать толщины более 10 м. Болотами занято около 8% территории (~1,4 млн км²). Торфяные залежи способны хранить углерод в течение нескольких тысячелетий.

Социальная функция — это природная способность лесов формировать социальную среду, благоприятную для существования и жизнедеятельности людей.

Все функции леса важны. Однако в настоящее время только в отношении экономической функции есть товарно-денежные отношения. Древесина является доминирующей в рыночном спросе на лесную продукцию.

Рост и развитие леса оцениваются по ежегодному приросту насаждений, запасу древесины, который в лесах России в среднем составляет 877 млн м³ или 1,4 м³ на 1 га покрытой лесом площади.

Оценка леса по размеру, качеству и стоимости экологических и социальных функций в экосистемной парадигме управления лесным хозяйством отсутствует. Экологические и социальные услуги предоставляются природой бесплатно.

По мнению авторов публикации [16], на кардинальное изменение отношения человека к лесному покрову потребуется около 20–30 лет даже в высокоразвитых странах.

Сегодня система охраны лесов от пожаров строится, в основном, с учетом их экономической ценности, а также степени хозяйственного освоения территории. Например, неохраняемая часть лесного фонда составляет 25,9% (~300 млн га). Считается, что экономическое использование этих территорий нецелесообразно как сейчас, так и в ближайшей перспективе.

Охрана неиспользуемых богатств не финансируется. Лесные пожары на этих территориях в отчетность не включаются [17]. Лесные экосистемы, как правило, не создавались трудом человека. Свойство самоорганизации лесных экосистем — это ес-

тественный процесс, который не зависит от воли человека и вызывается не внешними факторами, а внутренними причинами. К сожалению, авторам статьи не известна рекомендуемая для практического применения в пожарной охране методика определения стоимости несозданных трудом человека природных ресурсов, которые пока не находят спроса на рынке услуг и не будут находить его в ближайшие годы, но требуют охраны от огня уже сегодня.

В целях снижения затрат на тушение допускается в зоне авиационной охраны лесов, особенно в ее удаленных районах, частичное или полное прекращение тушения лесных пожаров, охвативших значительные площади, ликвидация которых не может быть обеспечена авиационными и наземными силами и средствами. Тушение может осуществляться частично в направлениях, угрожающих лесным поселкам, ценным лесным массивам, особо охраняемым природным территориям, хозяйственным и другим объектам. Тушение может быть прекращено в случаях, когда лесные пожары не представляют угрозы перечисленным выше территориям и объектам [8].

Делаются попытки создания замкнутой экосистемы на основе кругооборота веществ и энергии с участием людей. Для этого на ограниченном замкнутом пространстве в несколько гектаров видовой состав флоры и фауны был максимально приближен к естественным условиям. Эксперимент показал, что стоимость 1 га нетронутой окружающей среды составляет миллиарды долларов. В связи с этим сохранять биосферу гораздо дешевле, чем ее восстанавливать [18].

Огонь в лесу нарушает процесс естественного возобновления. Молодые деревья погибают. Если прогорание становится слишком частым, то это может повредить экосистему, сократив ее площадь, или вызвать сдвиг в сторону более подверженной пожарам растительности.

Вероятность гибели деревьев определяется повреждением камбального слоя, который защищен от теплового воздействия корой. Чем толще кора, тем надежнее защита камбального слоя и меньше гибель деревьев. Из-за малой толщины коры наблюдается более значительное отмирание молодых деревьев на землях, пройденных огнем. Например, во время низовых пожаров в северных сосновых лесах критическое значение толщины коры ствола, достаточное для предохранения клеток комбия от гибели в 90–95% ситуаций, составляет 8–10 мм. Гибель особей диаметром на высоте 1,3 м более 10 см и высотой более 8 м не превышает 10%, диаметром на высоте 1,3–1,5 см и у основания дерева до 3 см и высотой до 3 м достигает 90–100%. Интенсив-

ность пожара, продолжительность воздействия пламени на ствол и связанный с ним тепловой поток на поверхности коры определяют, в основном, глубину некроза тканей деревьев. При увеличении времени теплового воздействия газообразных продуктов

тог сгорания, нагретых до температуры 600°C, с 10 до 600 с расчетное значение толщины коры ствола сосны, необходимое для предохранения клеток камбимального слоя от гибели, возрастает с 2,8 до 22 мм [19].

Основные диагностические признаки определения вида лесного пожара и его интенсивности

Вид и интенсивность пожара	Класс пожарной опасности погоды	Основные виды горючих материалов, особенности пожара и характер повреждения лесного фитоценоза
<i>Низовой беглый:</i>		
слабая	I...II	Возникают на участках с травяным (весной, осенью) и лишайниковым (весь сезон) покровами, а также в лиственных насаждениях (весной и осенью), где опад сформирован из опавшей листвы деревьев и кустарников. В основном сгорает усохшая трава, опад листвы или кустистые лишайники. Высота нагара на ствалах — до 1 м, скорость распространения — до 1 м/мин, высота пламени — до 0,5 м. Интенсивность горения (мощность тепловыделения с 1 пог. м кромки пожара) — до 100 кВт/м
средняя	III	Высота нагара на ствалах — 1...2 м, скорость распространения — 1...3 м/мин, высота пламени — 0,5...1,5 м. Интенсивность горения — 101...750 кВт/м
высокая	IV	Высота нагара на ствалах — более 2 м, скорость распространения — выше 3 м/мин, высота пламени — более 1,5 м. Интенсивность горения — более 750 кВт/м
<i>Низовой устойчивый (подстилочный):</i>		
слабая	II	Кроме неразложившегося опада (ветошь, листва и т.д.) дополнительно сгорают живой напочвенный покров, кустарнички, подрост и верхний слаборазложившийся слой подстилки (A_0)
средняя	III	Дополнительно сгорает среднеразложившийся слой подстилки (A_0^n), а вокруг комлевой части стволов и валежа она прогорает до минеральной части почвы
высокая	IV...V	Подстилка сгорает сплошь до минеральных горизонтов почвы. На маломощных скелетных почвах наблюдается вывал деревьев
<i>Торфяной (подземный):</i>		
слабая	III	Сфагnum сгорает на глубину до 7 см, между корневыми лапами торф прогорает до 30 см, остаются отдельные участки несгоревшего сфагнума и багульника
средняя	IV	Кроме сфагнума сгорает очес и торф на глубину до 25 см. У большинства стволов вокруг комлевой части торф сгорает до минеральных слоев почвы, некоторые корневые лапы перегорают. Отдельные деревья вываливаются. Древостой сильно повреждается. Пожар имеет многоочаговый характер
высокая	IV...V	Торфяной слой сгорает сплошь до минеральной части почвы. Наблюдаются массовый вывал деревьев. Древостой погибает полностью
<i>Верховой:</i>		
слабая	III	Возникают в хвойных насаждениях со слабой сомкнутостью полога или содержащих в своем составе лиственницу и лиственные породы с долей участия до 3...4 единиц. Пожаром повреждаются участки с групповым расположением хвойных пород. Огонь по кронам распространяется снизу вверх, в основном за счет поддержки низового пожара
средняя	IV	Верховой огонь по кронам древостоя распространяется также и горизонтально, часто опережая кромку низового пожара. Большая часть (до 60%) древостоя повреждается верховым пожаром
высокая	IV...V	Полог древостоя сгорает сплошь или остается несгоревшим только пятнами в отдельных местах
<i>Примечание.</i> Дополнительным признаком интенсивности пожара может служить также величина невыгоревших участков в % от общей площади пожарища. Для пожаров всех видов она составляет: при слабой интенсивности — более 15%, при средней — от 6 до 15% и при высокой — менее 6%.		

На участках леса, пройденных низовыми пожарами, из-за временного недостатка горючих материалов в течение некоторого времени затруднено возникновение пожаров. Известны результаты опытно-производственного регулирования лесных горючих материалов контролируемыми выжиганиями в сосняках Приангарья, Низменного Заволжья, в лесных борах Алтая, когда количество напочвенных материалов уменьшилось до минимального уровня. Первые 3–4 года повторное горение на обработанных огнем площадях было исключено. В дальнейшем интенсивность пожаров была значительно ниже, и они не причиняли ощутимого вреда древостою и другим компонентам экосистемы. Поэтому знать потенциально возможный “оборот огня” в различных типах леса необходимо для успешной реализации системы мероприятий по повышению пожароустойчивости лесов управляемым огнем [20].

Основные диагностические признаки для определения вида лесного пожара и его интенсивности [8] приведены в таблице.

Оценка разрушительных последствий пожара в зависимости от его вида и интенсивности приведена в работе [21]. Это следующее: низовые беглые пожары весной и осенью не оказывают существенного влияния на развитие лесов. В летний период от них погибает 15–27% (по числу стволов) подроста и тонкомеря хвойных пород. При низовых пожарах высокой интенсивности может погибнуть от 5 до 15% общего запаса древесины. Низовые устойчивые (подстилочные) пожары вызывают отпад деревьев до 15–65% по числу стволов, потери древесины — 15–75%. При этом погибшие тонкие деревья темнохвойных пород (ель, пихта, кедр с диаметром менее 16 см) составляют подавляющее большинство. При подземных (торфяных) и верховых пожарах древостой может погибнуть полностью в результате сгорания хвои в кронах, подгорания корней и выгорания почвы.

Следовательно, учитывая масштабы негативного воздействия огня, для выжигания части горючего материала с минимальными разрушительными последствиями для окружающей среды наиболее приемлемы низовые беглые пожары весной и осенью, а также преднамеренные палы в эти же периоды.

Авторы статьи считают, что знание критических, пороговых значений диагностических признаков пожара, характеризующих влияние на выживание или гибель деревьев от воздействия пламени, необходимо при организации пожаротушения. Указанные значения целесообразно диффе-

ренцировать с учетом ценности насаждений, их пожарной опасности, степени хозяйственного освоения территории, выполнения лесами экологических функций и т.д. Пороговые значения должны быть доступны, их следует помещать в оперативные планы пожаротушения. Если показатели диагностических признаков действующего пожара или преднамеренного пала не превышают критических значений для данного участка леса, то есть основания для использования огня в целях уничтожения части горючего материала с контролированием его распространения и интенсивности в границах определенной площади.

При стоимостной оценке разрушительных последствий пожаров можно учитывать ставки платы за лесные ресурсы и площади лесных участков [22]. Например, установлены ставки платы за 1 кг лесной подстилки для Вологодской области в размере 0,02 руб., Калужской — 7,49 руб., Московской — 1,1 руб. и т.д.

Выходы

Из изложенного выше следует, что рассмотренные положения проекта Кодекса не являются новыми для лесной политики нашего государства. Применение огня для тушения пожаров и повышения пожароустойчивости лесов предусмотрено рядом соответствующих руководящих документов. Проводятся исследования, распространяются научные знания. Однако нетрадиционный подход к решению проблемы лесных пожаров, допускающий некоторые потери природы от огня, требует установления баланса между выгодами от использования огня и издержками и потерями от него. По установлению баланса разработчики проекта Кодекса констатируют, что увидеть количественное соотношение выгод и потерь, нанесенных экосистеме огнем, бывает трудновыполнимой задачей. По их мнению, для этого требуется разработка методов и стандартов для оценки пирогенного ущерба, включая неэкономические или нетоварные ценности. Это позволит объективно проводить анализ затрат и результатов и оценивать эффективность применения управляемого огня.

Авторы настоящей статьи считают, что указанные методики и стандарты — основа реализации положений “Кодекса по управлению пожарами”, совершенствования лесной политики и нормативно-правовой базы. Распространение нетрадиционного подхода к решению проблемы лесных пожаров следует начинать с создания методик и стандартов по оценке пирогенного ущерба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс управления пожарами (проект). — ФАО ООН, 2006. — 52 с.
2. **Воробьев, Ю. Л.** Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. Л. Соловьев; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. — 312 с.
3. **Каспаров, А. А.** Леса России — стратегический запас планеты / А. А. Каспаров // Межотраслевой тематический каталог системы безопасности. — 2006. — Т. 12, № 1. — С. 38–41.
4. **Писаренко, А. И.** Лесное хозяйство России: от использования — к управлению / А. И. Писаренко, В. В. Страхов. — М.: Юриспруденция, 2004. — 552 с.
5. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 гг. Одобрена Распоряжениями Правительства Российской Федерации от 14 января 2003 г. № 69-р.
6. Положение о подготовке лесного плана субъекта Российской Федерации. Утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 апреля 2007 г. № 246.
7. Правила пожарной безопасности в лесах Российской Федерации. Утверждены Постановлением Совета Министров Российской Федерации от 9 сентября 1993 г. № 886 (с изм. от 27 декабря 1994 г.).
8. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров. Утверждены заместителем руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России Д. И. Одинцовым 17 декабря 1997 г.
9. Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб. Утверждены заместителем руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России Д. И. Одинзовым 17 ноября 1997 г.
10. Рекомендации по созданию защитных противопожарных полос на участках лесного фонда путем контролируемого выжигания сухой травы. Утверждены Приказом руководителя Федеральной службы лесного хозяйства В. А. Шубиным 24 марта 1999 г. № 68.
11. **Беляев, И. И.** Развитие инновационных подходов в области безопасности, техногенной, природной и социальной сфер в рамках приоритетных направлений науки и техники / И. И. Беляев, Е. В. Грацианский, В. И. Осипов [и др.] // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2005. — № 1 — С. 39–70.
12. **Писаренко, А. И.** О некоторых современных задачах лесного сектора России / А. И. Писаренко, В. В. Страхов // Лесное хозяйство. — 2006. — № 4 — С. 5–7.
13. **Гундар, С. В.** Управление лесными пожарами / С. В. Гундар, А. В. Подгрушный // Пожароизрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 74–80.
14. **Ненашев, Ю. П.** О необходимости взаимодействия государственного пожарного надзора со средствами массовой информации / Ю. П. Ненашев // Комплексная система безопасности. — 2006. — С. 50–53.
15. **Воробьев, Ю. Л.** Лесные пожары в Российской Федерации (состояние и последствия) / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов // Технологии гражданской безопасности: Научно-технический вестник МЧС России. — 2006. — Т. 10, № 4. — С. 12–21.
16. **Писаренко, А. И.** О переходе лесного хозяйства России к экономическому управлению / А. И. Писаренко, А. А. Крайнев, В. В. Страхов // Лесное хозяйство. — 2006. — № 6 — С. 2–6.
17. **Кудрин, А. Ю.** Аэрокосмическая система мониторинга пожарной обстановки / А. Ю. Кудрин, В. М. Резников // Технологии гражданской безопасности: Научно-технический вестник МЧС России. — 2006. — Т. 10, № 4. — С. 56–61.
18. **Волкова, И. И.** Гражданско-правовые основы обеспечения безопасности окружающей среды / И. И. Волкова, Ю. В. Татьянич // Безопасность жизнедеятельности. — 2007. — № 4. — С. 49–52.
19. **Горшков, В. В.** Повреждения деревьев сосны обыкновенной и древесного яруса сосновых лесов Европейского Севера в результате пожаров / В. В. Горшков, Н. И. Ставрова, В. Н. Тарасова // Лесоведение. — 2004. — № 5. — С. 10–19.
20. **Фуряев, В. В.** Комплекты напочвенных горючих материалов и возможность их регулирования в профилактике лесных пожаров / В. В. Фуряев, Л. П. Злобина, В. И. Заблоцкий [и др.] // Лесное хозяйство. — 2007. — № 1. — С. 43–44.
21. Работа с населением по предотвращению лесных пожаров: Практическое пособие // Под. ред. чл.-корр. РАСХН Е. П. Кузьмичева. — М.: Алекс, 2005. — 128 с.
22. Ставки платы за единицу объема лесных ресурсов и ставки платы за единицу площади лесных участков, находящихся в федеральной собственности. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 г. № 310.

Поступила в редакцию 30.07.07.



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



Канд. юр. наук, доцент кафедры "Процессов горения" Академии ГПС МЧС РФ
О. С. Лебедченко



Курсант
Академии ГПС МЧС РФ
Н. С. Воробьев

УДК 614.841

МОДЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ УЧАСТИЯ ВОДОРОДА В ГОРЕНИИ И ВЗРЫВЕ

Рассмотрена модельная задача одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода из емкости через канал постоянного поперечного сечения в атмосферу. Получено аналитическое решение для распределения массовой концентрации водорода вдоль оси канала. Определены аналитически коэффициенты участия водорода в горении и взрыве. Отмечено, что коэффициент участия водорода во взрыве в 7,8 раза меньше соответствующего значения в НПБ 105–95 [1].

В соответствии с НПБ 105–95 [1] коэффициент участия водорода во взрыве может быть рассчитан на основе характера распределения газа в объеме помещения и принят $Z_e = 1$ (табл. 2 [1]).

При напекании водорода в помещение для определения вышеуказанного коэффициента необходимо рассчитать концентрационные поля. В общем случае эта задача является существенно нестационарной и трехмерной [2] и требует численного решения исходной системы уравнений.

Однако из-за высокой скорости диффузии водорода в воздухе в первом приближении коэффициент Z_e можно определить из решения модельной задачи одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода.

Рассмотрим протяженный канал постоянного поперечного сечения длиной L , заполненный водородно-воздушной смесью. На одной границе канала при $x = 0$ (вход, отверстие емкости, заполненной водородом) задана массовая концентрация водорода $X_h = X_1 = 1$, на второй границе при $x = L$ (выход, атмосфера) — $X_h = X_2$.

В случае отсутствия конвекции распределение концентраций водорода при установившейся молекулярной диффузии определяется из уравнения диффузии, которое для одномерного стационарного процесса имеет вид [3]:

$$\frac{d}{dx} \left(\rho D \frac{dX_h}{dx} \right) = 0, \quad (1)$$

где ρ — локальная плотность водородно-воздушной смеси;

D — коэффициент молекулярной диффузии водорода в воздухе;

X_h — локальная массовая концентрация водорода;

x — координата вдоль длины канала.

Используя уравнение состояния смеси и выразив газовую постоянную смеси через массовые концентрации компонентов [3], уравнение (1) в случае постоянства температуры и давления смеси, а также коэффициента молекулярной диффузии водорода в воздухе можно привести к виду:

$$\frac{d}{d\bar{x}} \left(\frac{1}{(\mu_a - \mu_h)X_h + \mu_h} \frac{dX_h}{d\bar{x}} \right) = 0, \quad (2)$$

где $\bar{x} = x/L$ — безразмерная координата;

μ_a , μ_h — молекулярная масса соответственно воздуха и водорода.

Интегрируя уравнение (2), получаем:

$$\frac{1}{\mu_a - \mu_h} \ln[(\mu_a - \mu_h)X_h + \mu_h] = C_1 \bar{x} + C_2, \quad (3)$$

где постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из граничных условий: при $\bar{x} = 0$ $X_h = X_1$; при $\bar{x} = 1$ $X_h = X_2$.

Тогда распределение массовых концентраций водорода по длине канала имеет вид:

$$X_h = \left(X_1 + \frac{\mu_h}{\mu_a - \mu_h} \right) \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{\bar{x}} - \frac{\mu_h}{\mu_a - \mu_h}. \quad (4)$$

Коэффициенты участия массы водорода, находящегося внутри канала, в горении и взрыве определяются как

$$Z_e = m_e / m_\Sigma; \quad (5)$$

$$Z_\epsilon = m_\epsilon / m_\Sigma, \quad (6)$$

где m_Σ — суммарная масса водорода внутри канала; m_e — суммарная масса водорода, приходящаяся на участок канала с концентрацией $X_{\text{НКПГ1}} \leq X_h \leq X_{\text{ВКПГ2}}$ (горючая смесь); m_ϵ — суммарная масса водорода, приходящаяся на участок с концентрацией $X_{\text{НКПД1}} \leq X_h \leq X_{\text{НКПД2}}$ (взрывоопасная смесь); $X_{\text{НКПГ1}}, X_{\text{НКПГ2}}$ — нижний и верхний концентрационные пределы горения; $X_{\text{НКПД1}}, X_{\text{НКПД2}}$ — нижний и верхний концентрационные пределы детонации.

Массы водорода, входящие в выражения (5) и (6), определяются по формулам:

$$m_\Sigma = \int_0^1 \rho X_h F d\bar{x}; \quad (7)$$

$$m_e = \int_{\bar{x}_{e2}}^{\bar{x}_{e1}} \rho X_h F d\bar{x}; \quad (8)$$

$$m_\epsilon = \int_{\bar{x}_{\epsilon2}}^{\bar{x}_{\epsilon1}} \rho X_h F d\bar{x}, \quad (9)$$

где F — площадь поперечного сечения канала; $\bar{x}_{e1}, \bar{x}_{e2}$ — безразмерные координаты, в которых массовые концентрации водорода равны соответственно его нижнему и верхнему концентрационным пределам горения ($X_{\text{НКПГ1}}$ и $X_{\text{НКПГ2}}$); $\bar{x}_{\epsilon1}, \bar{x}_{\epsilon2}$ — безразмерные координаты, в которых массовые концентрации водорода равны соответственно его нижнему и верхнему концентрационным пределам детонации ($X_{\text{НКПД1}}$ и $X_{\text{НКПД2}}$).

Используя уравнение состояния смеси и выразив газовую постоянную смеси через массовые концентрации компонентов, уравнения (7) – (9) в случае постоянства температуры и давления смеси можно привести к виду (при $X_2 \leq X_{\text{НКПГ1}}$ в случае выражения (8) и $X_2 \leq X_{\text{НКПД1}}$ для выражения (9)):

$$m_\Sigma = A \left[1 + \left(\frac{\mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \times \right. \right.$$

$$\left. \times \ln \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-1} \right) \times \\ \left. \times \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h} - 1 \right) \right]; \quad (10)$$

$$m_e = A \left[\bar{x}_{e1} - \bar{x}_{e2} + \left(\frac{\mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \times \right. \right. \\ \left. \times \ln \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-1} \right) \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-\bar{x}_{e1}} - \\ \left. \left. - \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-\bar{x}_{e2}} \right] \right]; \quad (11)$$

$$m_\epsilon = A \left[\bar{x}_{\epsilon1} - \bar{x}_{\epsilon2} + \left(\frac{\mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \times \right. \right. \\ \left. \times \ln \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-1} \right) \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-\bar{x}_{\epsilon1}} - \\ \left. \left. - \left(\frac{(\mu_a - \mu_h)X_2 + \mu_h}{(\mu_a - \mu_h)X_1 + \mu_h} \right)^{-\bar{x}_{\epsilon2}} \right] \right], \quad (12)$$

$$\text{где } A = \frac{pF\mu_h\mu_a L}{R_\mu T(\mu_a - \mu_h)};$$

p — давление смеси внутри канала;

T — температура смеси внутри канала;

R_μ — универсальная газовая постоянная.

Суммарная масса водорода, приходящаяся на участок канала с горючей смесью и определяемая по выражению (11), является максимальной при $X_2 \leq X_{\text{НКПД1}}$ и равняется нулю в случае $X_2 \geq X_{\text{НКПД2}}$.

Значение суммарной массы водорода, приходящейся на участок канала с взрывоопасной смесью и определяемой из выражения (12), является максимальным при $X_2 \leq X_{\text{НКПГ1}}$ и равняется нулю в случае $X_2 \geq X_{\text{НКПГ2}}$.

Таким образом, соотношения (10) – (12) соответствуют максимально возможным значениям m_e и m_ϵ в рассматриваемой модельной задаче. При этом $X_1 = 1$ и $X_2 = X_{\text{НКПГ1}}$ при расчете m_e и $X_1 = 1$ и $X_2 = X_{\text{НКПД1}}$ при расчете m_ϵ .

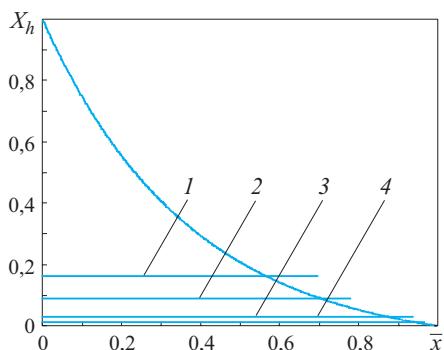
Используя выражения (10) – (12), можно найти коэффициенты участия массы водорода, находящейся внутри канала, в горении и взрыве (формулы (5) – (6)).

Принимаем в соответствии с [4] (переводя объемные доли водорода в массовые):

$$X_{\text{НКПГ1}} = 0,0029; \quad X_{\text{НКПГ2}} = 0,164;$$

$$X_{\text{НКПД1}} = 0,0149; \quad X_{\text{НКПД2}} = 0,087.$$

Распределение массовых концентраций водорода по длине канала в частном случае диффузии водорода из емкости ($X_1 = 1$) в чистый воздух ($X_2 = 0$) показано на рисунке.



Распределение массовой концентрации водорода по длине канала: 1 — $X_h = X_{HКПГ2}$; 2 — $X_h = X_{HКПД2}$; 3 — $X_h = X_{HКПД1}$; 4 — $X_h = X_{HКПГ1}$

Максимальные значения коэффициентов участия массы водорода, находящейся внутри канала, в горении и взрыве составляют соответственно:

$$Z_e = 0,2743; Z_g = 0,1279.$$

Это означает, что при отсутствии конвекции для установившейся молекулярной диффузии 27,43% всей массы водорода образуют горючую водородно-воздушную смесь и 12,79% — взрывоопасную смесь.

Выводы

Аналитическое решение модельной задачи одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода из емкости через канал постоянного поперечного сечения в атмосферу показывает, что коэффициент участия водорода во взрыве в 7,8 раза меньше соответствующего значения в НПБ 105–95.

Для более точной оценки коэффициента участия водорода во взрыве необходимо учитывать трехмерную нестационарную конвекцию, возникающую при натекании водорода в помещение, например, по методам расчета, предложенным в публикациях [2, 5].

ЛИТЕРАТУРА

- НПБ 105–03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрыво-пожарной и пожарной опасности.
- Пузач, С. В.** Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С. В. Пузач. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
- Кутателадзе, С. С.** Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
- Баратов, А. Н.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук [и др.]. — М.: Химия, 1990. — 496 с.
- Puzach, S. V.** Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room / S. V. Puzach // International Journal of Hydrogen Energy. — 2003. — № 28. — Р. 1019–1026.

Поступила в редакцию 02.07.07.



Канд. техн. наук, начальник сектора
ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных
материалов (ВИАМ)"

С. Л. Барботко

УДК 614.841.345:629.7.042.2

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Скорость выделения тепла при горении полимерных материалов может быть определена при помощи различных приборов. Используя уравнения тепло- и массообмена, при помощи математической модели, описывающей прогрев и горение слоистого тела, можно рассчитывать тепловыделение различных материалов. При реализации данной математической модели был сделан ряд допущений, которые могут вносить погрешность в получаемые результаты. Данная работа посвящена оценке величин погрешностей, вносимых некоторыми основными допущениями.

Введение

В работе [1] было приведено подробное описание математической модели, позволяющей рассчитывать процессы прогрева – термодеструкции – горения твердых многослойных материалов, подвергающихся воздействию внешнего теплового потока заданной интенсивности, и на основе имеющихся справочных данных (теплоемкость, теплопроводность, теплота термодеструкции, теплота сгорания, коксовое число и др.) прогнозировать кинетику выделения тепла при горении. Полученные расчетные данные были сопоставлены с экспериментально полученными результатами. Кроме того, там же [1] была дана оценка влияния некоторых теплофизических параметров (теплоемкость, теплопроводность) на расчетные характеристики.

Однако в данной работе не рассматривалось влияние других сделанных допущений. Тем не менее некоторые из них могут вносить существенный вклад как в процесс прогрева материала, так и в конечный результат (расчетную скорость выделения тепла).

В связи с этим необходима оценка величины вносимой погрешности и сопоставление ее с погрешностью эксперимента. Разброс экспериментальных данных по скорости выделения тепла для параллельных испытаний составляет до 20% от максимальной скорости тепловыделения, а в области нулевых значений — ±(5–10) кВт/м².

Оценка погрешности допущения о равенстве удельных теплот сгорания полимера и газообразных продуктов термодеструкции

Было сделано допущение, что удельная теплота сгорания газообразных продуктов термодеструк-

ции равна удельной теплоте сгорания полимера. При отсутствии в составе полимера антиприренов, деструктирующих с большим эндотермическим эффектом и выделяющих при этом пары воды или инертных газов (микрокапсулы с водой, гидроксиды или карбонаты металлов и др.), газообразные продукты термодеструкции являются сгорающими, и их теплота сгорания определяется из формулы

$$Q_{сгор} = Q_{газ.пр} (1 - КЧ) + Q_{кокс.ост} КЧ,$$

где $Q_{сгор}$, $Q_{газ.пр}$ и $Q_{кокс.ост}$ — теплоты сгорания полимера, газообразных продуктов термодеструкции и коксового остатка соответственно, Дж/г; КЧ — коксовое число (доля полимера, переходящего в коксовый остаток).

Остающийся коксовый остаток не более чем на 98% состоит из углерода [2, с. 131–132]. Это предположение подтверждается экспериментальными результатами по определению теплот сгорания полимеров и коксовых остатков, полученных при термоокислительном пиролизе образцов полимеров в трубчатой печи (температура печи 850°C, время пиролиза 15 мин)*.

Если за теплоту сгорания коксового остатка принять теплоту сгорания углерода (графита), то можно определить максимальное изменение теплоты сгорания газообразных продуктов термодеструкции

* Экспериментально полученные при помощи бомбовой калориметрии значения теплоты сгорания коксовых остатков полимерных материалов различных классов составляли 23,7–28,0 кДж/г [5], причем теплоты сгорания коксовых остатков превышали теплоты сгорания исходных полимеров не более чем на 10 %. (Эксперименты выполнены во ФГУП "ВИАМ" ст. науч. сотр., канд. техн. наук Л.В. Бычихиной).

струкции. Теплота образования углекислого газа 393,51 кДж/моль [3], следовательно, теплота сгорания углерода составляет $393,51:12 = 32,79$ кДж/г.

Для поликарбоната марки “Дифлон” теплота сгорания составляет 29,66 кДж/г [4]. При КЧ = 0,25 минимальная расчетная средняя теплота сгорания газообразных продуктов термодеструкции составит: $Q_{газ,np} = (29,66 - 0,25 \cdot 32,79)/(1 - 0,25) = 28,62$ кДж/г. Таким образом, погрешность от допущения о равенстве теплот сгорания полимера и газообразных продуктов термодеструкции не превышает 4% для данного материала. Расчеты с использованием теплот сгорания полимеров и их коксовых остатков показывают, что уменьшение теплоты сгорания газообразных продуктов термодеструкции по сравнению с теплотой сгорания полимера возрастает с увеличением коксового числа и составляет от 3,5% (при КЧ = 0,3–0,5) до 12 % (при КЧ = 0,6–0,7).

Оценка снижения тепловыделения за счет затрат тепла на прогрев материала

Используемая математическая модель не учитывает отрицательного тепловыделения, регистрируемого в процессе эксперимента, за счет затрат тепла на прогрев полимера. Эксперименты по определению тепловыделения при горении стеклопластиков (см. рис. 1–6 [1]) показали, что отрицательная скорость тепловыделения за счет первичного прогрева материала составляет 5–6 кВт/м². Прогрев образца оказывает влияние на кинетику тепловыделения в течение первых 10–120 с в зависимости от толщины материала. Отсутствие учета данного момента приводит к завышению значений общего количества выделившегося при горении тепла на 1–10 кВт·мин/м² (1 кВт·мин/м² = 0,6 МДж/м²). Данная поправка внесена в последующие расчеты [6].

Оценка влияния выгорания коксового слоя в процессе проведения эксперимента

Математическая модель не учитывает выгорания образующегося коксового слоя. Вносимая за счет этого допущения погрешность частично компенсируется допущением об отсутствии дополнительного термического разложения образовавшихся газообразных продуктов при их прохождении через вышележащие слои. Отсутствие учета этого фактора вносит погрешность в кинетику тепловыделения на заключительном этапе эксперимента (120–300 с). Скорость выгорания коксового слоя теоретически может лимитироваться как кинетической (скорость реакции окисления), так и диффузационной областью (подвод кислорода к коксовому слою). Зависимость скорости реакции от температуры показывает, что практически реакция выгора-

ния кокса в условиях проведения эксперимента (температура на поверхности образца ~900 К) лимитируется кинетической областью [5, с. 173].

Поскольку в поверхностном слое при высокой температуре облегчен контакт с кислородом воздуха, а в глубинных слоях и температура существенно ниже, и встречный поток газообразных продуктов термодеструкции обеспечивает наличие восстановительной атмосферы вокруг образующегося коксового слоя, выгорание кокса должно наблюдаться только в поверхностных слоях образца.

Визуальный контроль послойного среза испытанных образцов показал, что кокс практически выгорает из первых 1–2 слоев стеклопластика, более глубокие слои являются закоксованными, а на глубине выше 2–3 мм расположен визуально недеструктировавший материал. Таким образом, количество выгоревшего кокса полимера (для образца стеклопластика на поликарбонате) составляет не более 70 г/м², что теоретически может обеспечить добавочное тепловыделение в течение трех последних минут эксперимента до 13 кВт/м². Однако расчетные кривые во временном диапазоне 2–5 мин, как правило, расположены не ниже экспериментальных значений. Следовательно, эффекты экранирования образующимся коксовым слоем и слоями стеклоткани нижележащих слоев полимера и добавочного коксообразования при повторном пиролизе газообразных продуктов термодеструкции, фильтрующихся через выгоревшие слои, как правило, компенсируют выгорание кокса из верхних слоев образца.

Для материалов, образующих толстый вспучивающийся слой пенококса, влияние выгорания образующегося рыхлого теплозащитного коксообразного покрытия может быть более существенным с точки зрения изменения скорости процессов прогрева и термодеструкции полимера, поэтому должно быть учтено при совершенствовании математической модели для описания вспенивающихся огнезащитных покрытий.

Оценка правомерности допущения о полной непрозрачности полимерных слоев

Принятое допущение о полной непрозрачности к тепловому излучению слоя любой толщины приводит к резким скачкам мгновенной расчетной скорости выделения тепла при выгорании каждого элементарного слоя (см. рис. 4 [1]).

Анализ литературы показывает, что для оценки поглощения используют различные параметры: может применяться как оптическая полутолщина (толщина с 50%-ным поглощением), так и длина свободного пробега излучения, обеспечивающая ослабление лучистого потока в e раз [5, с. 148]. При-

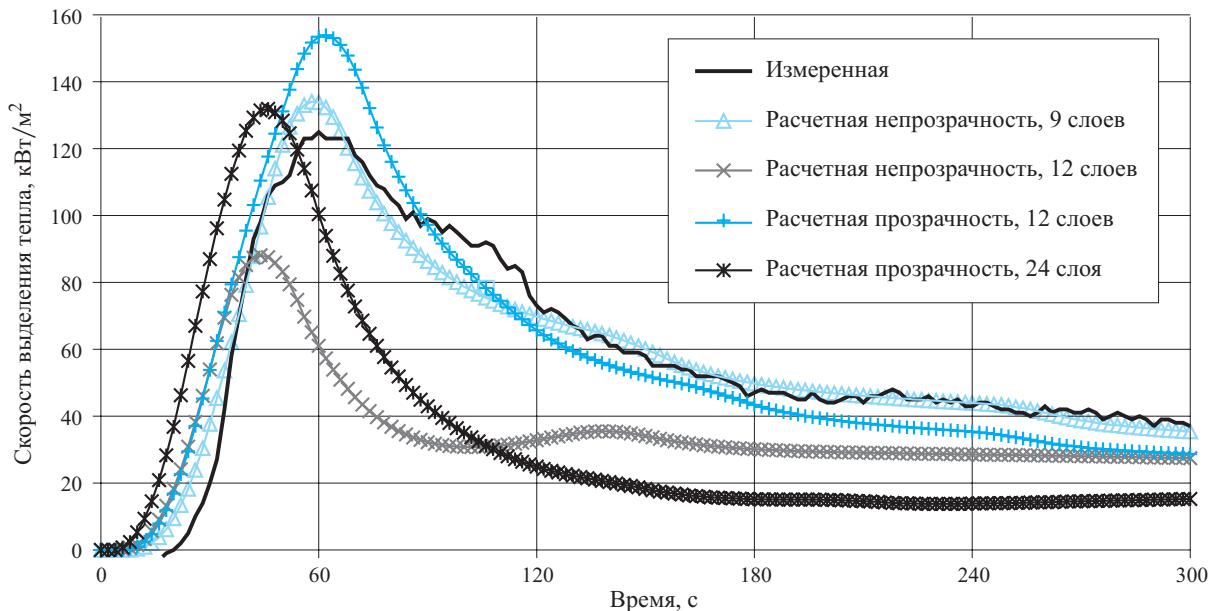


Рис. 1. Влияние учета прозрачности полимера на вид расчетных кривых скорости тепловыделения

чем эти величины в зависимости от длины волны излучения для различных материалов могут меняться в десятки раз. Оптическая полутолщина полимеров для длин волн теплового излучения, как правило, не превышает 0,05–0,1 мм (50–100 г/м²). Она сопоставима с толщиной элементарного слоя, используемого в данной математической модели, поэтому проницаемостью слоя для лучистого потока изначально пренебрегли.

Однако в процессе выгорания слоя его масса уменьшается (при горении некоксующихся материалов она может снижаться до нуля), и в таких условиях пренебрежение наличием прозрачности приводит к резким скачкам тепловыделения, которые впоследствии необходимо сглаживать.

Для учета прозрачности полимера необходимо изменить уравнение теплового баланса для n -го элементарного слоя, введя добавочные члены, и добавить новое уравнение:

$$q_{\text{погл}} = q_{\text{вх}} - q_{\text{вых}} + q_{\text{луч}, n-1} - q_{\text{луч}, n};$$

$$q_{\text{луч}, n} = q_{\text{луч}, n-1} 2^{-\frac{m_{\text{слоя}}}{m_{\text{опт.нм}}}},$$

где $q_{\text{вх}}$, $q_{\text{вых}}$ и $q_{\text{погл}}$ — соответственно входящее за счет теплопроводности, выходящее за счет теплопроводности и поглощенное (пошедшее на нагрев и пиролиз) n -м элементарным слоем количество тепла, кВт/м²;

$q_{\text{луч}, n-1}$ и $q_{\text{луч}, n}$ — соответственно вошедшее в n -й элементарный слой и вышедшее из него количество лучистого тепла, кВт/м²;

$m_{\text{слоя}}$ и $m_{\text{опт.нм}}$ — масса соответственно элементарного слоя и слоя оптической полутолщины, г/м².

Для оценки погрешности допущения о полной тепловой непрозрачности элементарных слоев проведены расчеты монолитного пластика как без учета проницаемости материала, так и с различной задаваемой оптической полутолщиной, и полученные результаты сопоставлены с измеренной скоростью выделения тепла.

На рис. 1 представлено влияние допущений о полной непрозрачности или частичной прозрачности полимера на вид расчетных кривых. При принятии допущения о полной непрозрачности элементарного слоя наилучшее совпадение расчетной кривой с экспериментальными данными наблюдается при закладываемой толщине слоя около 0,12 мм (9 элементарных слоев при исходной толщине образца 1,1 мм). При использовании допущения о частичной прозрачности элементарного слоя (принятая оптическая полутолщина составляет 50 г/м²) расчетная максимальная скорость выделения тепла практически совпадает с экспериментальной и практически не зависит от количества закладываемых элементарных слоев (при условии их толщины менее 0,1 мм). Однако ниспадающая ветвь кривой тепловыделения значительно отличается от экспериментальной.

На рис. 2 показано влияние степени прозрачности полимера к тепловому излучению на расчетные кривые скорости выделения тепла при горении. Видно, что увеличение степени прозрачности полимера может быть скомпенсировано уменьшением количества элементарных слоев (увеличением толщины элементарного слоя).

Таким образом, принятие допущения о полной непрозрачности полимера не вносит существенных

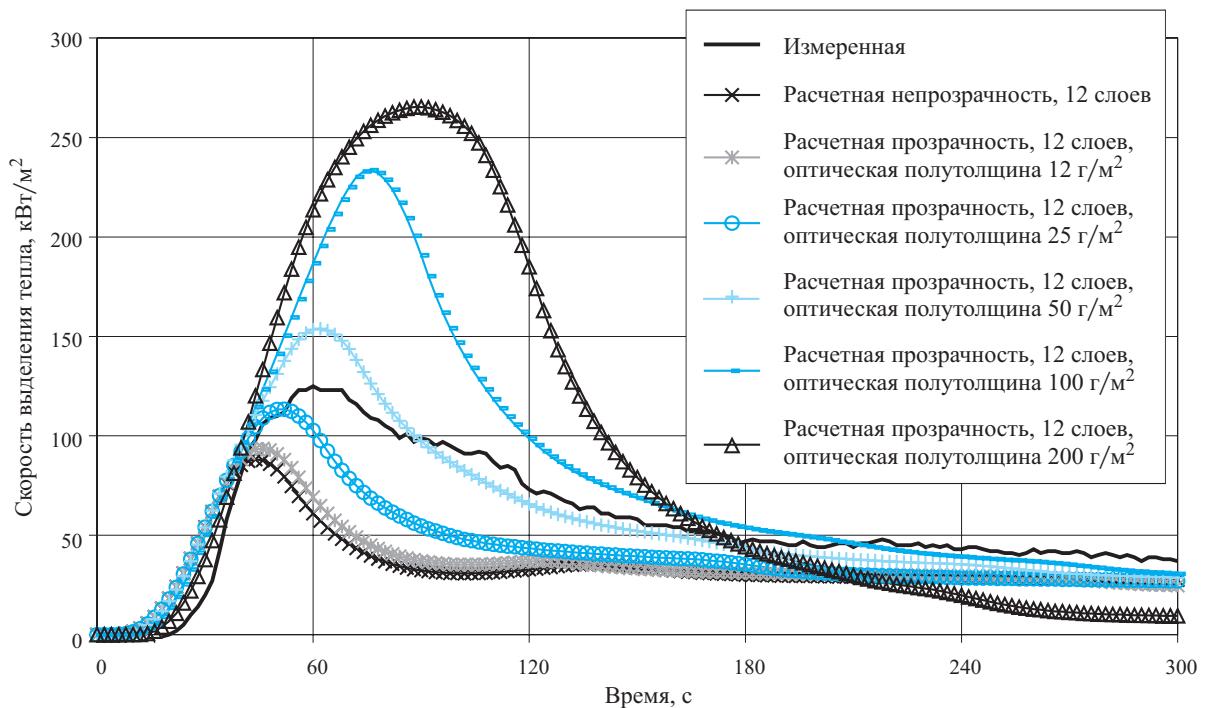


Рис. 2. Влияние степени прозрачности полимера на вид расчетных кривых скорости тепловыделения

ошибок в ход расчетной кривой скорости выделения тепла, однако требует тщательного подбора задаваемой толщины элементарного слоя.

Выводы

Показано, что сделанные допущения о равенстве удельных теплот сгорания полимера и газообразных продуктов термодеструкции, об отсутствии выгорания образовавшегося коксового слоя и полной оптической непрозрачности элементарного

слоя для лучистого теплового потока не приводят к существенным ошибкам в расчетах скорости выделения тепла при горении полимерного материала.

Учет частичной прозрачности слоя полимера к лучистому тепловому потоку уменьшает погрешность описания процесса тепловыделения при горении материала и снижает требования к точности подбора толщины элементарных математических слоев, на которые разбивается образец.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Барботько, С. Л.** Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения / С. Л. Барботько // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 10–24.
2. **Асеева, Р. М.** Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. — М.: Наука, 1981. — 280 с.
3. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. — Л.: Химия, 1983. — 232 с.
4. Горючесть и дымообразующая способность полимерных материалов авиационного назначения. — М.: ВИАМ, 1986. — 104 с.
5. **Полежаев, Ю. В.** Тепловая защита / Ю. В. Полежаев, Ф. Б. Юрьевич; под ред. А. В. Лыкова. — М.: Энергия, 1976. — 392 с.
6. **Барботько, С. Л.** Математическое моделирование тепловыделения при горении для полимерных композиционных материалов различной толщины / С. Л. Барботько, О. С. Вольный, Т. Ф. Изотова // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 4. — С. 16–20.

Поступила в редакцию 15.06.07.



Д-р хим. наук, профессор,
профессор кафедры "Пожарной
безопасности в строительстве"
Академии ГПС МЧС РФ
Р. М. Асеева



Д-р техн. наук, профессор, начальник
учебно-научного комплекса проблем
пожарной безопасности в строитель-
стве Академии ГПС МЧС РФ
Б. Б. Серков



Канд. техн. наук, доцент ка-
федры "Пожарной без-
опасности в строительстве"
Академии ГПС МЧС РФ
А. Б. Сивенков



Генеральный директор
научно-производственной
фирмы "Ловин-огнезащита"
В. С. Кулаков



Канд. техн. наук, заместитель гене-
рального директора научно-произвон-
ственной фирмы "Ловин-огнезащита"
Н. Н. Крашенинникова



Канд. хим. наук, ведущий научный
сотрудник Института биохимической
физики им. Н. М. Эмануэля РАН
А. М. Сахаров



Научный сотрудник
Института биохимической
физики им. Н. М. Эмануэля РАН
П. А. Сахаров

УДК 641.841.41; 674.815.41

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ДВУХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Проведено комплексное сравнительное исследование эффективности и механизма действия двух огнезащитных систем для древесины: пропиточного состава на основе фосфор- и азотсодержащих низкомолекулярных веществ; пленкообразующего покрытия на основе модифицированных высокомолекулярных полисахаридов. Для оценки эффективности огнезащитного действия указанных систем применяли стандартные методы испытания материала на горючесть, показатели воспламеняемости и распространения пламени по поверхности, дымообразующую способность и токсичность продуктов горения. Для раскрытия механизма огнезащитного эффекта применяли методы термического анализа, электронную микроскопию, инфракрасную спектроскопию. Установлено, что обе системы при соответствующих расходах обеспечивают высокую эффективность огнезащиты древесины, хотя механизмы их действия существенно различаются.

Введение

Древесина по-прежнему является наиболее распространенным и доступным природным строительным материалом. Однако легкая воспламеняемость, горючесть и другие пожароопасные свойства древесины ограничивают области применения этого материала и вызывают необходимость его огнезащиты. Известно, что особенно эффективными способами огнезащиты древесины являются пропитка древесного материала специальными составами, содержащими антиприрены (замедлители горения), и нанесение огнезащитных покрытий [1]. Пропитка древесины огнезащитными составами

может быть поверхностной или глубокой, осуществляющейся, например, с использованием автоклавов для обеспечения повышенного давления и более глубокого проникновения состава в толщу материала.

В настоящее время разработано большое количество средств и способов огнезащиты древесины [1–3]. Оценку эффективности огнезащиты древесины осуществляют по ГОСТ 16363–98. Однако в реальных пожарных ситуациях, когда на древесный материал воздействуют более интенсивные лучистые тепловые потоки, огнезащитные средства могут оказаться малоэффективными. Более того, они могут даже вызывать увеличение дымообразования

и токсичности продуктов горения. Имеются примеры, когда древесные материалы I группы огнезащиты по ГОСТ 16363–98, полученные пропиткой огнезащитными составами, характеризовались быстрым распространением пламени по поверхности [4]. В связи с этим эффективность огнезащитного действия различных средств для древесины необходимо проверять не только по классу огнезащиты, но и по всему спектру наиболее важных показателей пожарной опасности материалов: воспламеняемости и распространению пламени по поверхности в широком диапазоне интенсивности внешних лучистых тепловых потоков, скорости тепловыделения при горении, а также образованию дыма и токсичных продуктов горения.

Особый интерес представляет вопрос о связи эффективности и механизма действия огнезащитных средств для древесины.

Цель настоящей работы состояла в проведении комплексного сравнительного исследования эффективности и механизма действия двух огнезащитных систем для древесины, относящихся по молекулярному строению к противоположным классам соединений. Программа исследований была направлена на установление факторов, влияющих на эффективность огнезащиты древесины, и выяснение возможного механизма огнезащитного действия двух используемых в работе систем.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны две огнезащитные системы, включающие компоненты принципиально разных химических классов как по молекулярному строению, так и по химическому составу: 1 — пропиточный состав на основе низкомолекулярных веществ, 2 — пленкообразующий состав на основе высокомолекулярного модифицированного полимера растительного происхождения.

Огнезащитный 20%-ный пропиточный состав для древесины, разработанный фирмой “Ловин-огнезащита”, включает фосфор- и азотсодержащее вещество (аммоний фосфорнокислый двухзамещенный) в определенном сочетании с низкомолекулярным дигидроксиароматическим соединением.

Огнезащитный состав на основе высокомолекулярных модифицированных полисахаридов (МПС) получен каталитическим окислением растительного сырья в водной щелочной среде по методу [5]. Он не содержит Р-, N-, галоген- или борсодержащие антипириены. В настоящей работе использован экологически чистый крахмальный реагент со степенью окисления 0,5. Концентрация водного раствора (геля) в расчете на сухое вещество составляет порядка 30%.

Огнезащитные водные составы наносили на поверхность древесины толщиной 20 мм кистью, обеспечивая расход 300–400 г/м², и высушивали образцы при комнатной температуре до постоянной массы.

Первичную оценку эффективности огнезащиты древесины двумя используемыми системами проводили по ГОСТ 16363–98. Дальнейшее комплексное исследование пожароопасных свойств огнезащищенных древесных материалов осуществляли с помощью стандартных методов определения показателей воспламеняемости (ГОСТ 30402–96), распространения пламени (ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.19), а также дымообразующей способности и токсичности продуктов горения (ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.18 и 4.20 соответственно). Благодаря модернизации стандартной установки по определению показателей воспламеняемости материалов и дополнительному оснащению ее весовым устройством оказалось возможным определять динамику потери массы при горении древесины при пламенном и тлеющем режиме процесса. Полученные значения массовой скорости выгорания MCB (г/(м²·с)) были использованы для оценки скорости и других характеристик тепловыделения при горении исследуемых образцов.

Для определения лидирующего механизма огнезащитного действия двух указанных систем применяли современные физические и физико-химические методы исследования — динамический термогравиметрический анализ, инфракрасную спектроскопию, растровую электронную микроскопию и др.

Результаты и обсуждение

Предварительное изучение влияния соотношения компонентов пропиточного состава на эффективность огнезащиты древесины по ГОСТ 16363–98 показало, что наименьшая потеря массы при испытании наблюдается при определенном весовом соотношении диаммонийфосфата и дигидроксипроизводного ароматического соединения (рис. 1). Увеличение расхода пропиточного состава при оптимальном соотношении исходных компонентов повышает эффективность огнезащиты. При расходе 300 г/м² и более (рис. 2) достигается I группа огнезащитной эффективности. Аналогичный результат наблюдается при изменении расхода состава на основе модифицированного полисахарида (см. рис. 2). Таким образом, обе исследуемые системы позволяют при расходе 300–400 г/м² достичь необходимого эффекта огнезащиты древесины I группы (потеря массы при испытании менее 9%). Более тщательное изучение пожароопасных характеристик образцов древесины при указанном расходе

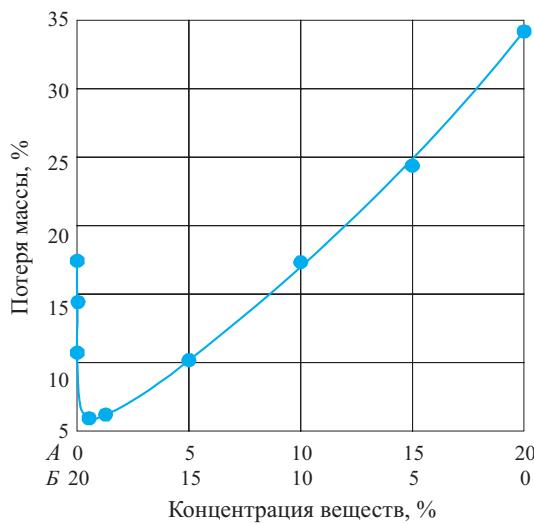


Рис. 1. Зависимость потери массы древесины обработанной пропиточными составами с расходом 400 г/м² при испытании по ГОСТ 16363–98 от концентрации исходных веществ: А — дигидроксиароматическое соединение; Б — аммоний фосфорнокислый двузамещенный

де водных составов дает возможность выявить более значительные различия в их поведении при горении.

Количественными параметрами воспламеняемости, которые позволяют сравнивать эффект огнезащиты материалов, могут служить: время до задержки воспламенения образца τ_e при заданной плотности внешнего теплового потока q_e , а также критический тепловой поток воспламенения, ниже которого воспламенения не наблюдается q_{cr}^* .

В табл. 1 приведены результаты исследования влияния двух указанных систем на параметры воспламеняемости древесины.

При действии внешнего теплового потока после прогрева до определенной температуры древесина начинает разлагаться и выделять горючие вещества. Момент воспламенения наступает тогда, когда скорость выделения горючих летучих продуктов пиролиза превышает нижний концентрационный предел воспламенения их смеси с воздухом.

Критическая плотность теплового потока воспламенения образцов древесины была определена методом линейной экстраполяции экспериментальных значений времени воспламенения в зависимости от плотности внешнего теплового потока. График этой зависимости был построен в координатах $\tau^{-1/2} - q_e$, используемых для анализа воспламеняемости термически толстых образцов.

Как видно из табл. 1, с увеличением плотности внешнего теплового потока, подводимого к поверхности образца, происходит уменьшение времени задержки воспламенения. Огнезащитные составы, нанесенные на древесину сосны, во много раз по-

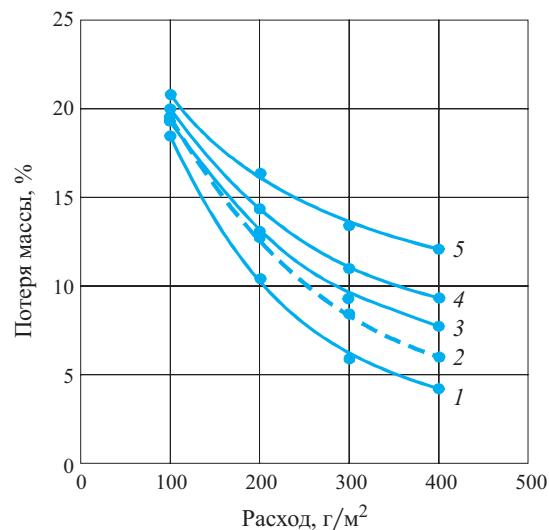


Рис. 2. Зависимость потери массы образца огнезащищенной древесины при испытаниях от расхода огнезащитных составов: 1 — модифицированный крахмал, степень модификации $\alpha = 0,5$; 2 — состав, содержащий дигидроксиароматическое соединение (0,5% в водном растворе) и аммоний фосфорнокислый двузамещенный (20% в водном растворе); 3 — модифицированный рис, степень модификации $\alpha = 0,5$; 4 — модифицированный крахмал, $\alpha = 0,3$; 5 — модифицированный рис, $\alpha = 0,3$

Таблица 1. Влияние огнезащитных систем на параметры воспламеняемости древесины

Образец	Расход, г/м ²	q_e , кВт/м ²	τ_e , с	q_{cr}^* , кВт/м ²	МСВ _{макс} , г/(м ² ·с)
Сосна	—	30	21	12,5	—
	—	40	9	28,0	—
	—	50	4	35,7	—
Сосна с Р-, N-содержащим пропиточным составом	300	30	195	22,5	—
	400	30	39	—	21,3
	400	600	16	25,0	—
Сосна с покрытием из модифицированного полисахарида	300	30	72	—	—
	400	30	29	—	14,4
	500	30	670	29,7	—
	500	40	210	—	12,5
	500	50	50	—	16,1

вышают ее сопротивляемость воспламенению. Удлиняется не только период до воспламенения образцов, но и возрастают значения критического теплового потока, необходимого для их воспламенения. При этом, несмотря на органическую природу модифицированного полисахарида и отсутствие в нем Р-, N- и галогенсодержащих элементов — замедлителей горения, огнезащитное покрытие на его основе при одинаковом расходе с пропиточным составом позволяет активнее влиять на характеристики воспламенения образцов древесины.

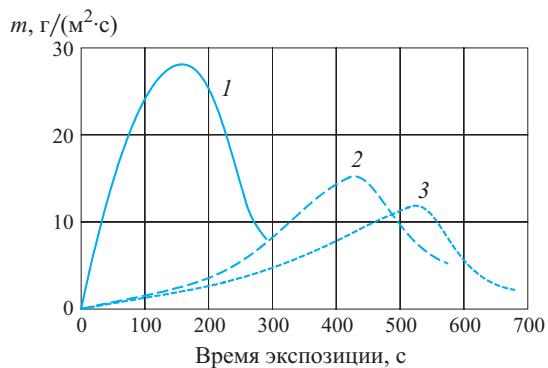


Рис. 3. Массовая скорость выгорания при горении образцов сосны необработанной и с огнезащитными покрытиями при плотности теплового потока 40 $\text{kVt}/\text{м}^2$: 1 — сосна необработанная; 2 — сосна с составом, содержащим аммоний фосфорнокислый двузамещенный и дигидроксиароматическое соединение (расход 300 $\text{г}/\text{м}^2$); 3 — сосна с модифицированным крахмалом, $\alpha = 0,5$ (расход 300 $\text{г}/\text{м}^2$)

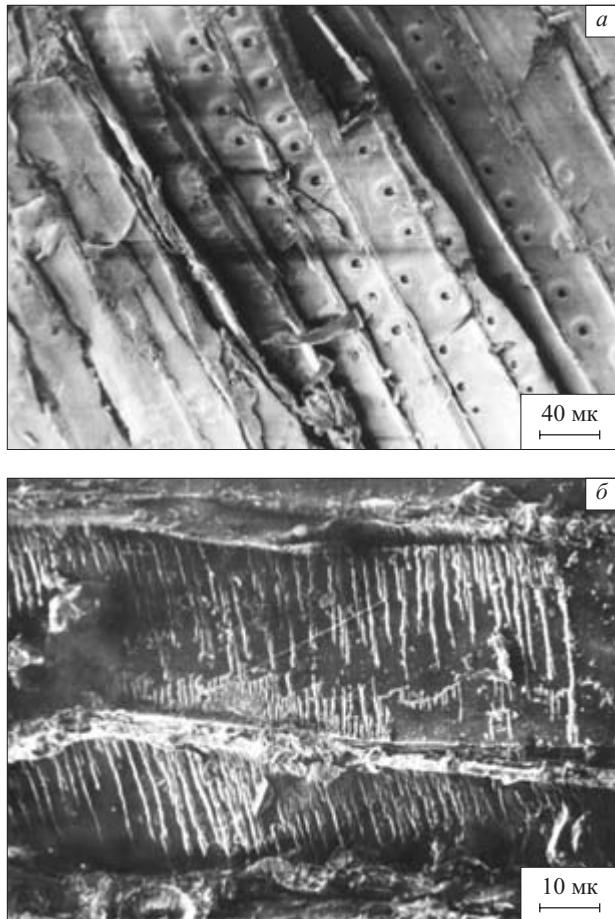


Рис. 4. Фотографии срезов древесины необработанной и после обработки Р-, N-содержащим пропиточным составом, полученных с поверхности образцов с помощью электронной микроскопии: а — сосны необработанной (увеличение 300 раз); б — сосны с антиприреном, содержащим аммоний фосфорнокислый двузамещенный в соотношении 19,5/0,5, соответственно (увеличение 850 раз)

Следует отметить, что в момент воспламенения и после него тепловой поток, падающий на поверхность материала, представляет собой уже комбинацию внешнего теплового потока и теплового потока от возникшего собственного пламени. Скорость выделения летучих горючих продуктов при горении древесного материала вначале возрастает до определенного максимума, который зависит от интенсивности внешнего теплового потока, а затем начинает снижаться до стационарного значения (рис. 3). Дело в том, что древесина представляет собой материал, пиролиз которого сопровождается образованием нелетучего карбонизованного остатка. Толщина формирующегося на поверхности древесины угольного слоя по мере продвижения фронта пиролиза внутрь образца возрастает. В результате увеличивается сопротивление переносу тепла к фронту пиролиза. Если образцы древесины термически тонкие, пиролиз достаточно быстро охватывает всю их толщину. Тогда после полного выделения горючих летучих продуктов пиролизное горение прекращается, остается лишь угольный слой, который выгорает в тлеющем режиме. В этом случае кривая зависимости скорости потери массы от времени горения древесины характеризуется наличием второго пика, относящегося к окислению угольного слоя.

Как следует из табл. 1, с увеличением расхода огнезащитного состава максимальная скорость потери массы при горении образцов даже в очень жестких условиях воздействия лучистого теплового потока ($q_e = 50 \text{ кВт}/\text{м}^2$) снижается более чем в два раза по сравнению с необработанной древесиной. Таким образом, огнезащитные составы оказывают влияние на динамику пиролиза древесины, замедляя и уменьшая образование и выделение летучих горючих продуктов. При этом важное значение имеет качество образующегося на поверхности образца угольного слоя.

Как показал анализ реплик, полученных с поверхности образцов с помощью электронной микроскопии, после обработки Р-, N-содержащим пропиточным составом структура поверхностного слоя заметно изменяется (рис. 4). На поверхности среза необработанного образца обнаружены типичные элементы структуры хвойной древесины, а именно микрофибриллы в виде лентоподобных образований и волокна, между которыми расположены окаймленные поры округлой формы (см. рис. 4, а). После пропитки составом с оптимальным соотношением компонентов поры уже не видны, а между микрофибриллами наблюдаются поперечные образования — “тяжи” (см. рис. 4, б). Создается картина появления своего рода пространственно сплошной структуры. Обугленный плотный слой, формирую-

щийся на поверхности древесины при огневом воздействии, характеризуется в этом случае большей однородностью и отсутствием глубоких трещин по сравнению с обугленной поверхностью необработанной сосны.

В отличие от пропиточного Р-, N-содержащего состава, огнезащитное покрытие на основе модифицированных полисахаридов, полностью сохраняющее первичную фактуру древесины, под действием огня образует на поверхности образца вспененный коксовый слой. При расходе состава 300 г/м² толщина этого коксовых слоя составляет 28–31 мм при внешнем тепловом потоке 30–50 кВт/м².

Таким образом, можно сделать вывод, что важную роль в механизме огнезащиты древесины при применении обеих огнезащитных систем играет образование коксового слоя. Однако природа и динамика реакций его образования, а также свойства заметно различаются.

Особый интерес представляет вопрос, как влияют используемые огнезащитные системы на распространение пламени (РП) по поверхности древесины. В табл. 2 приведены сравнительные данные об изменении основных характеристик РП после огнезащитной обработки древесины.

Из табл. 2 видно, что обе огнезащитные системы существенно снижают индекс РП, скорость РП по поверхности древесины и увеличивают критическую плотность лучистого теплового потока для РП q_{kp}^{RP} . Огнезащищенные древесные материалы переходят в категорию медленно распространяющих пламя. С увеличением расхода составов все показатели улучшаются и можно ожидать получения материалов с $I_{RP} = 0$, т.е. не распространяющих пламя. Следует отметить, что скорость РП на пределе не является нулевой, а имеет определенное значение, связанное, по-видимому, с необходимой для РП минимальной, критической массовой скоростью выделения горючих продуктов пиролиза. Для всех исследуемых древесных материалов вне зависимости от их значений q_{kp}^{RP} скорость РП на пределе затухания горения сохранялась на одном уровне — 0,23–0,24 мм/с.

Установлено, что обе огнезащитные системы активно влияют на дымообразующую способность при горении древесины и токсичность дымовых газов. При пламенном горении древесных материалов оптическая плотность дыма обычно меньше, чем при тлении. В то же время дефицит кислорода в зоне реакции тления кокса приводит к увеличению выхода токсичного монооксида углерода. В изученном наиболее опасном тлеющем режиме горения древесины без и с огнезащитной обработкой наблюдается закономерное увеличение коэффициента дымообразования с ростом плотности внешнего

Таблица 2. Характеристики РП по поверхности огнезащищенной древесины

Образец	Расход состава, г/м ²	Индекс РП I_{RP}	Скорость РП при 32 кВт/м ² , мм/с	q_{kp}^{RP} , кВт/м ²
Сосна	—	55,0	4,40	5,0
Сосна + МПС	100	9,2	1,40	20,5
Сосна + МПС	200	4,7	0,47	24,0
Сосна + МПС	300	0,8	0,38	27,8
Сосна + МПС + P, N-состав	300	2,5	1,10	19,6
Сосна + МПС + P, N-состав	400	0,5	0,74	22,0

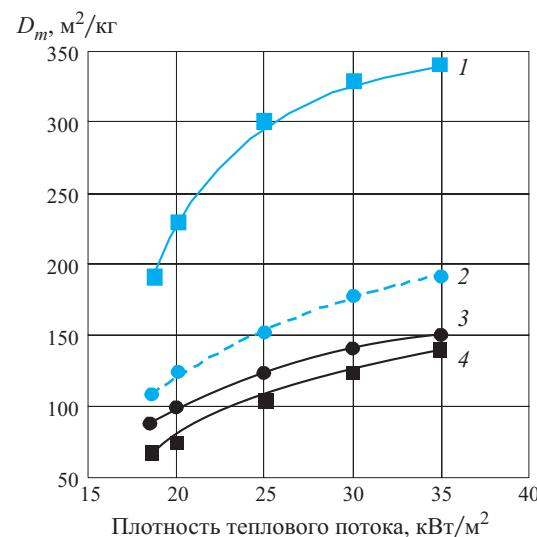


Рис. 5. Зависимость коэффициента дымообразования древесины с составами от плотности теплового потока: 1 — сосна необработанная; 2 — сосна с составом, содержащим аммоний фосфорнокислый двузамещенный и дигидроксиароматическое соединение (расход 300 г/м²); 3 — сосна с составом, содержащим аммоний фосфорнокислый двузамещенный и дигидроксиароматическое соединение (расход 400 г/м²); 4 — сосна с покрытием, крахмал, $\alpha = 0,5$ (расход 300 г/м²)

плотного потока с 18 до 35 кВт/м² (рис. 5). Однако при равных условиях испытания огнезащищенные образцы отличаются меньшим коэффициентом дымообразования по сравнению с исходной древесиной и относятся к группе материалов с умеренной дымообразующей способностью согласно принятой классификации. Обе системы позволяют при расходе 300 и 400 г/м² понизить коэффициент дымообразования сосны при тепловом потоке 35 кВт/м² соответственно с 345,1 до 150 м²/кг (см. рис. 5).

Интересно отметить, что модифицированные полисахариды в самостоятельном виде даже в тле-

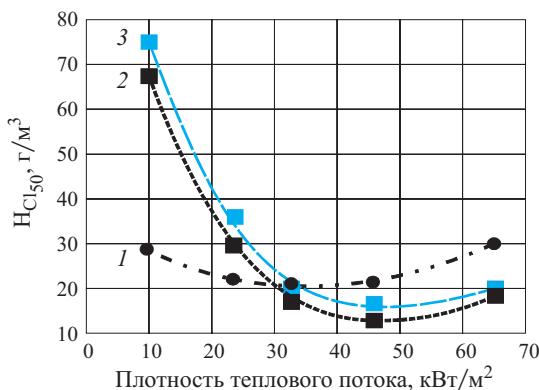


Рис. 6. Зависимость показателя токсичности продуктов горения материалов в режиме тлеения от плотности внешнего радиационного теплового потока: 1 — сосна необработанная; 2 — состав, содержащий дигидроксиароматическое соединение (0,5% в водном растворе) и аммоний фосфорнокислый двузамещенный (20% в водном растворе) (расход 300 г/м²); 3 — сосна с покрытием, модифицированный крахмал, $\alpha = 0,5$ (расход 300 г/м²)

ящем режиме горения при действии внешнего лучистого теплового потока до 35 кВт/м² имеют низкие коэффициенты дымообразования и могут быть отнесены к группе материалов с малой дымообразующей способностью (см. рис. 5). Тот факт, что уровень снижения образования дыма при горении древесины, обработанной этим огнезащитным составом с расходом 300 г/м², не достигает значений для исходной системы, говорит лишь о недостаточной толщине покрытия для более полной реализации его огнезащитных свойств.

Токсичность продуктов тлеющего горения древесины зависит от плотности внешнего теплового потока. В широком диапазоне плотности 10–65 кВт/м² по токсичности продуктов горения необработанная древесина относится к группе высокоопасных материалов (рис. 6). Кривая 1 отражает сложный экстремальный характер зависимости показателя токсичности от плотности внешнего теплового потока. В интервале 10–23 кВт/м² наблюдается типичная, хотя и слабая, зависимость роста токсичности продуктов горения (уменьшение H_{Cl50} за счет увеличения концентрации СО). При 23–24 кВт/м² в условиях испытания образцов по ГОСТ 12.1.044–89 происходит самовоспламенение древесины сосны. В результате усиливается окисление монооксида углерода, и показатель токсичности H_{Cl50} снова возрастает с увеличением интенсивности теплового потока.

Обработка древесины используемыми огнезащитными системами препятствует реализации самовоспламенения древесины и расширяет диапазон тлеющего режима горения. Критический тепловой поток самовоспламенения древесины, обрабо-

танной пропиточным Р-, N-содержащим составом с расходом 400 г/м², равен 44,0 кВт/м². Покрытие на основе модифицированного полисахарида с расходом 300 г/м² приводит к повышению q_{kp}^{CB} древесины сосны с 23 до 52,5 кВт/м².

Исходное покрытие модифицированного полисахарида при том же расходе не самовоспламеняется даже при тепловом потоке 65 кВт/м² и характеризуется меньшей токсичностью продуктов горения, чем огнезащищенная древесина. Обе используемые огнезащитные системы при указанных расходах обеспечивают переход древесины из ранга материалов высокоопасных по токсичности продуктов горения в группу умеренно опасных при тепловых потоках до 32 кВт/м². Полученные результаты позволяют сделать вывод, что даже пропиточный состав, включающий фосфор, не подавляет полностью тлеющее горение древесины. Это говорит о том, что фронт пиролиза древесины в этом случае проникает на большую глубину, чем поверхностный фосфорсодержащий слой.

Сравнительный анализ пожароопасных характеристик древесины, обработанной используемыми в работе системами, показывает более высокую эффективность огнезащитного покрытия, способного к образованию на защищаемой поверхности вспененного термостойкого слоя. Этот слой позволяет значительно уменьшить или предотвратить перенос тепла к поверхности древесины и затруднить ее пиролиз.

По данным динамического термогравиметрического исследования образцов древесины обработка ее поверхности огнезащитными системами приводит к ускорению реакций карбонизации. Это выражается в смещении температурных характеристик разложения субстратов в область более низких температур по сравнению с исходной древесиной, уменьшении значений эффективной энергии активации разложения. Например, температуры максимальной скорости разложения поверхностного слоя древесины с пропиточным составом или с огнезащитным покрытием снижаются с 330°C (для необработанной сосны) до 262 или 244°C соответственно. Эффективная энергия активации разложения при этом падает с 209 до 154 или 148 кДж/моль соответственно. Из-за интенсификации процесса разложения и карбонизации поверхностного слоя древесины общая потеря массы существенно уменьшается по сравнению с массовыми потерями у исходной сосны.

Анализ динамики температурных изменений в ИК-спектрах образцов древесины, обработанных используемыми огнезащитными составами, выявил различие в механизме реакций образования коксового слоя. В ИК-спектрах образцов, снятых в

диапазоне 500–4000 см⁻¹, особое внимание было уделено областям частотных колебаний О–Н, С–Н и С–О–С–связей в структурных группировках молекул исследуемых субстратов. Такие группировки наиболее чувствительны к трансформациям при тепловом воздействии.

Сделан вывод, что пропиточный состав реагирует с древесиной при повышенной температуре и ускоряет реакции дегидратации и сшивания макромолекул целлюлозы — основного компонента древесины. Огнезащитное покрытие на основе модифицированных полисахаридов с древесиной не взаимодействует, но само претерпевает ряд физико-химических превращений. В результате внутримолекулярных реакций дегидратации и декарбоксилирования без существенного разрыва основных цепей макромолекул модифицированного полисахарида выделяются вода и диоксид углерода. Так как полимер в этих условиях переходит в вязкотекучее состояние, создаются предпосылки для его вспенивания и образования в последующем карбонизованной “шубы”, защищающей поверхность древесины от сильного нагрева [6]. Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что образование коксового слоя на поверхности огнезащищенной древесины играет положительную роль в снижении пожароопасных характеристик материала.

Скорость обугливания древесины зависит от многих факторов. Некоторые экспериментальные данные по скорости обугливания сосны и ели, а также упрощенная модель обугливания древесных материалов представлены в работе [7]. В этой модели учитывается зависимость скорости обугливания от интенсивности внешнего теплового потока, концентрации кислорода в окружающей среде, плотности древесины, содержания в ней влаги и других характеристик.

Полученные в настоящей работе экспериментальные результаты по скорости обугливания древесины сосны при тепловом потоке 50 кВт/м² согласуются с данными [7]. Для оценки скорости обугливания огнезащищенных образцов древесины нами был использован подход, аналогичный описанному в [7], а также собственные результаты измерения массовой скорости выгорания как функции внешнего теплового потока, температуры во фронте пиролиза T_p и на поверхности коксового слоя T_s .

Расчет линейной скорости обугливания β исследуемых образцов древесины проведен по уравнению

$$\beta = q_{net}/\rho \Delta H_V = [q_e - \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_p^4)]/\rho \Delta H_V,$$

где q_{net} — тепловой поток, поступающий к фронту пиролиза через коксовый слой, с учетом тепло-

вых потерь за счет радиационного излучения от нагретой обугленной поверхности;

ρ — плотность приповерхностного слоя древесины, обработанной огнезащитными системами, кг/м³;

ΔH_V — энтальпия газификации, кДж/г.

Средние значения энтальпии газификации определены по зависимости массовой скорости выгорания образцов от плотности внешнего теплового потока.

Установлено, что при внешнем тепловом потоке 50 кВт/м² скорость обугливания приповерхностного слоя древесины, обработанной пропиточным составом, равна 4,67 мм/мин. Обугливание исходной древесины в этих условиях происходит со скоростью 1,39 мм/мин. Таким образом, пропиточный состав увеличивает скорость обугливания древесины почти в 3,5 раза. Быстрое обугливание приповерхностного слоя древесины замедляет последующий пиролиз нижележащих слоев.

Покрытие на основе модифицированного полисахарида работает по другому сценарию. Образуя вспененный кокс на поверхности образца, оно снижает скорость обугливания древесины до 0,18 мм/мин. Полученные результаты подтверждают разные механизмы образования обугленного слоя на поверхности древесины и эффективность его огнезащитного действия при использовании двух указанных огнезащитных систем.

Заключение

Сравнительное исследование огнезащитного действия пропиточного состава для древесины на основе низкомолекулярного Р-, N-содержащего вещества и покрытия на основе высокомолекулярного модифицированного полисахарида показало возможность достижения высокой эффективности огнезащиты древесины при соответствующем расходе указанных систем. В механизме огнезащиты важную роль играет образование при тепловом и огневом воздействии на поверхности древесины карбонизированного слоя. Установлено, что пропиточный состав, вступая в реакцию взаимодействия с древесиной, образует плотный карбонизованный слой, который защищает нижележащие слои от нагрева и замедляет массоперенос продуктов пиролиза в газовую fazу. Огнезащитное покрытие на основе модифицированного полисахарида не реагирует с древесиной, но при термическом разложении полимера образует вспененный кокс с высокими теплоизолирующими свойствами. Слой вспененного кокса представляет собой барьер для передачи тепла к защищаемой поверхности древесины, снижая вероятность ее пиролиза. Влияние используемых огнезащитных систем на скорость обугливания

древесины подтверждает разные механизмы их действия. В частности, пропиточный состав увеличивает в 3,5 раза скорость обугливания древесины сосны при плотности внешнего лучистого теплового

потока $50 \text{ кВт}/\text{м}^2$ (с 1,39 до 4,84 мм/мин). Покрытие же на основе модифицированного полисахарида в аналогичных условиях снижает скорость обугливания древесины до 0,18 мм/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонович, А. А.** Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций / А. А. Леонович, А. В. Шелоумов. — СПб: Изд-во СПбГПУ, 2002. — 59 с.
2. Способы и средства огнезащиты древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 1995. — Т. 14, № 1. — С. 78.
3. **Деева, О. А.** Рецептуры огнезащитных композиций / О. А. Деева // НИИТЭХИМ. — Черкассы, 1999. — 14 с.
4. **Тычино, Н. А.** Современные огнезащитные средства для древесины: результаты исследований / Н. А. Тычино // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8, № 3. — С. 13–20.
5. US Patent 5 484 914 (1996) / Скибида И. П., Сахаров Ан. М., Сахаров Ал. М.
6. Асеева, Р. М. Исследование механизма термического разложения модифицированных полисахаридов / Р. М. Асеева, Б. Б. Серков, А. Б. Сивенков [и др.] // Вестник Академии ГПС. — 2006. — № 6. — С. 3–12.
7. **Mikkola, E.** Charring of Wood Based Materials / E. Mikkola // Proceedings of 3nd International Symposium on Fire Safety Science. — Edinburgh, 1991. — Р. 547–556.

Поступила в редакцию 04.07.07.



Д-р техн. наук, старший научный сотрудник Академии ГПС МЧС РФ
Т. Ю. Еремина



Начальник отдела разработок ООО "Научный Инновационный Центр Строительства и Пожарной Безопасности" ("НИЦ С и ПБ")
М. В. Крашенинникова



Зам. генерального директора по производству ООО "НИЦ С и ПБ"
Ю. Н. Дмитриева



Технический директор ООО "НИЦ С и ПБ"
Д. С. Семёнов

УДК 699.812.3

НОРМИРУЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ СДАЧЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ

Нормированные в ССПБ требования к качеству огнезащитной обработки представлены в основном такими параметрами, как внешний вид и толщина покрытия. Однако по этим данным невозможно определить, каким изменениям подвергается защитная поверхность в процессе эксплуатации. Авторами предлагается решение проблемы прогнозирования эффективности огнезащиты эксплуатируемого покрытия с помощью методов термического анализа.

Критерии огнезащитной эффективности огнезащитных составов (ОЗС) основаны на данных огневых испытаний, нормированных в системе стандартов в области пожаробезопасности, где определяются общие и обязательные требования к качеству огнезащитной обработки (таблица). При нанесении покрытия на строительной площадке работы принимаются организацией-заказчиком и оформляются актом произвольной или обязательной формы. Средства огнезащиты обладают различными эксплуатационной стойкостью и долговечностью, поэтому необходим систематический контроль за состоянием защищенной поверхности и, в случае необходимости, проведение своеобразных ремонтно-восстановительных работ [1]. Однако, поскольку параметрами контроля качества в основном остается внешний вид и толщина покрытия, только по этим данным невозможно определить, каким изменениям подверглась поверхность с течением времени. Срок эксплуатации зданий и сооружений исчисляется десятилетиями, и вопрос сохранения эффекта огнезащиты покрытий в процессе длительной эксплуатации остается актуальным, тем более если предположить, что эффект огнезащиты может быть полностью утрачен со временем без видимых изменений самого покрытия [2].

Авторами предлагается решение проблемы прогнозирования долговечности покрытия с помощью методов термического анализа (ТА). Рассмотрим данное предложение на примере широко применяемых для огнезащиты металлических конструкций средств — состава ОВПФ-1М и водно-дисперсионной всучивающейся краски "Терма" (ООО "Научный Инновационный Центр Строительства и Пожарной Безопасности" ("НИЦ С и ПБ")).

Анализируя представленные изображения кривых термического анализа для краски "Терма", приходим к заключению, что характерные температурные пики ДТА практически идентичны и находятся в одной температурной области (545–675 и 531–670°C), что свидетельствует о сохранении огнезащитных свойств данного покрытия (рис. 1).

Для прогнозирования долговечности огнезащитного состава ОВПФ-1м проведены исследования с применением метода дифференциально-термического анализа (ДТА) до и после испытаний по методике искусственного старения и на основании данных реальных условий эксплуатации путем отбора некоторого количества огнезащитного состава с объекта "Проектный институт НИИТМАШ, Санкт-Петербург, ул. Караванная, д. 1", где была произведена огнезащитная обработка в 1995–1996 гг. (рис. 2).

Нормируемые показатели контроля качества огнезащитных покрытий

Нормативный документ	Контроль качества нанесенных огнезащитных покрытий	Примечание
НПБ 232–96, п. 3.3	Выявление необработанных мест, трещин, отслоений, изменения цвета, пятен, инородных включений и других повреждений; замер толщины нанесенного слоя. Качество обработки деревянных конструкций — п. 6 разд. 4 [1]	Акт проверки состояния и условий эксплуатации покрытий
НПБ 251–98, п. 25	Место применения покрытия должно быть доступно для его повторного нанесения или реставрации, иначе гарантийный срок службы огнезащитной обработки должен быть не менее срока службы огнезащиты	
НПБ 239–97	Нет информации	
НПБ 238–97, п.п. 4.2, 4.2.3.1	Контроль толщины огнезащитного слоя покрытия проводится при подготовке образцов кабелей с огнезащитным кабельным покрытием к испытаниям и при выполнении контрольных и надзорных функций на кабельных линиях реальных объектов	
НПБ 236–97, п. 6.3.3.3	Перед нанесением огнезащитного покрытия должна быть проведена его идентификация. Экспериментальная идентификация покрытия проводится с помощью аппаратуры ТА	
ГОСТ 23790–79 [3], п.п. 1.5, 2.2–2.6	При приемке проводят контрольную проверку внешнего вида покрытия и его толщины. Проверка толщины покрытия должны подвергаться не менее 10 конструкций от каждой партии	Акт произвольной формы
ГОСТ 23791–79 [4], п.п. 1.15, 2.2–2.6	При приемке проводят контрольную проверку внешнего вида покрытия, его толщины, объемной массы и предела прочности при сжатии	То же
РД 153-34.0-20.262–2002 [2], п.п. 7.3.2, 7.3.3	Качество нанесения огнезащитного кабельного покрытия: внешний вид, отсутствие необработанных участков кабельных линий, трещин, отслоений, сколов, посторонних пятен и других повреждений; соответствие толщины нанесенного слоя требованиям технической документации	Акт приемки и протокол замеров толщины кабельного покрытия
СНиП 21-01-97*	В п. 7.13 приведен текст из п. 3.3 НПБ 232–96	Акты в прил. 2, 3, 4 НПБ 232–96
“Способы и средства огнезащиты древесины”, п.п. 4.3, 4.6	Внешний вид, толщина нанесенного слоя, соответствие поверхности требованиям НТД. Качество поверхностной обработки пропиточными составами следует оценивать по горючести стружки	Акт приемки

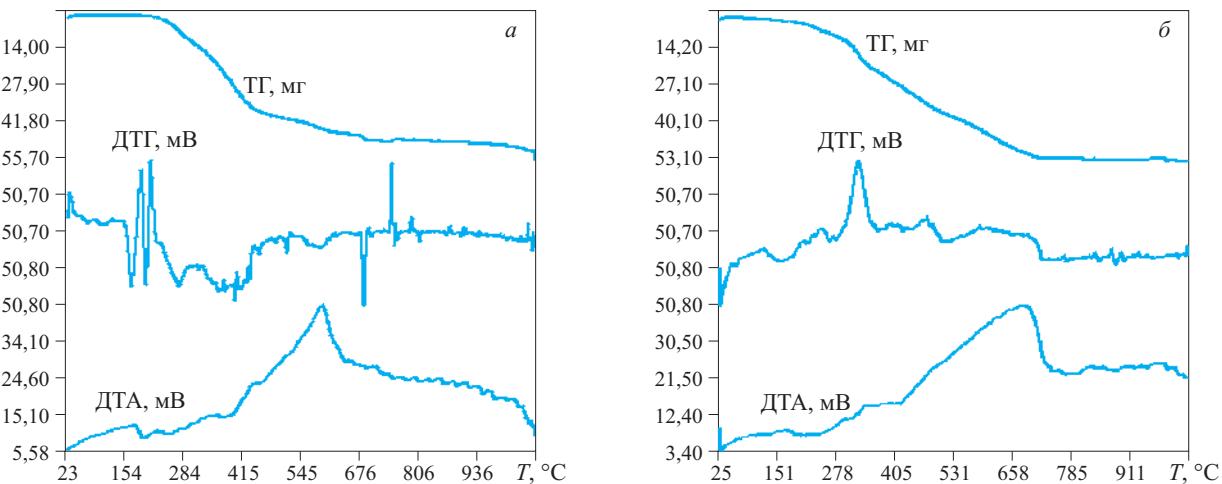


Рис. 1. Термоаналитические зависимости образцов огнезащитной краски “Терма”: а — стандартная рецептура; б — образец, снятый с объекта “Государственный исторический архив”, г. Санкт-Петербург (2004 г.).

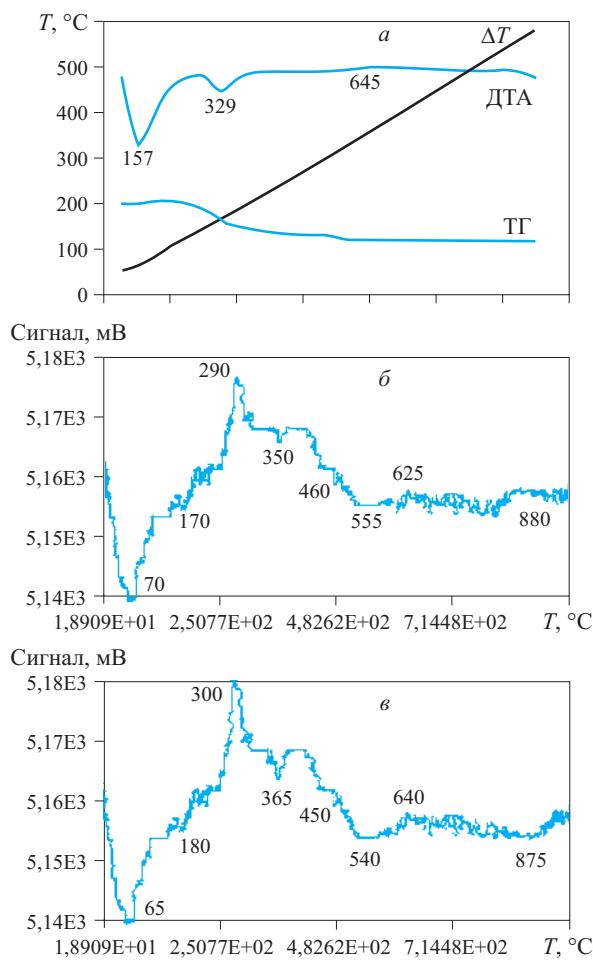


Рис. 2. Данные результатов ДТА огнезащитного состава ОВПФ-1м: *а* — до испытаний по методике искусственного старения; *б* — после испытаний по методике искусственного старения (10 лет); *в* — после 10 лет эксплуатации в реальных условиях

Анализ данных ДТА образцов в эндообласти от 20 до 157°C и экзообласти от 157 до 360°C показал, что показатели пиков для образцов в интервале температур 100–300°C после искусственного старения

и после испытаний образцов с подложки конструкции строительного объекта практически одинаковы. Из приведенных данных следует, что огнезащитная эффективность с увеличением срока эксплуатации для данных продуктов повышается, что связано с гидрофильтрностью состава и краски, т.е. способностью адсорбировать воду на поверхности, а также с выделением нерастворимого и термостойкого соединения силиката при воздействии углекислого газа в случае состава.

Выводы

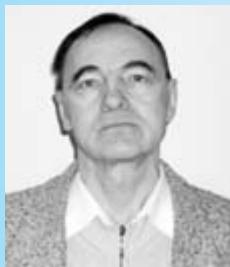
В настоящее время для оценки качества покрытий и их эксплуатационных свойств используют нормативные документы, предназначенные в основном для продукции лакокрасочной отрасли, при этом практически ограничиваются внешним видом огнезащитного покрытия и замером его толщины.

При разработке огнезащитных составов требования к долговечности должны учитывать специфику их свойств и составлять 10–15 лет. Эти требования связаны с химической и физической агрессией, вызываемой как внешней средой, так и ингредиентами, входящими в состав материалов. Кроме того, должна быть исследована адгезия огнезащитных материалов к металлу, дереву, пластикам; технологические факторы при их нанесении на конструкции, зависящие от физико-химических процессов в составе различных огнезащитных материалов; определено время эксплуатации методами ускоренных климатических испытаний и т.д. [5]. Считаем также целесообразным введение дополнительных методов исследований, например термического анализа, для образцов, снятых с реальных строительных объектов, что позволит прогнозировать такой параметр огнезащитных покрытий, как долговечность.

ЛИТЕРАТУРА

- Способы и средства огнезащиты древесины: Руководство. — М.: ВНИИПО, 1994.
- РД 153-34.0-20.262-2002. Правила применения огнезащитных покрытий кабелей на энергетических предприятиях.
- ГОСТ 23790-79. Покрытие по древесине фосфатное огнезащитное.
- ГОСТ 23791-79. Покрытие по стали фосфатное огнезащитное.
- Еремина, Т. Ю.** Снижение пожарной опасности строительных конструкций и материалов за счет применения огнезащитных средств. Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. — СПб, 2004.

Поступила в редакцию 07.08.07.



Д-р хим. наук, профессор кафедры "Химии и процессов горения" УрИ ГПС МЧС РФ
С. А. Вшивков



Канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры "Химии и процессов горения" УрИ ГПС МЧС РФ
С. Н. Пазникова



Канд. хим. наук, профессор кафедры "Химии и процессов горения" УрИ ГПС МЧС РФ
Е. В. Русинова



Канд. техн. наук, доцент кафедры "Химии и процессов горения" УрИ ГПС МЧС РФ
С. А. Евтюхов

УДК 541.64:536.7:539.2

ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ И СТРУКТУРА СИСТЕМ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТ – АНТИПИРЕНЫ КЛАССА ФОСФАТОВ

Методами рефрактометрии, светорассеяния и спектра мутности изучены фазовое равновесие и структура систем полиметилметакрилат (ПММА) – антипирены класса фосфатов. Сопоставлены понижение температуры стеклования при модификации систем и изменение таких структурных параметров, как флуктуации концентрации и размеры надмолекулярных частиц.

Практически все полимеры, используемые в производстве конструкционных материалов, термически нестабильны. При повышении температуры происходит разрушение химической структуры полимера с образованием летучих продуктов. Нагревание пластмасс на воздухе вызывает реакции деструкции. После выделения летучих веществ остается материал с измененной пористой структурой. Поры облегчают проникновение кислорода из окружающей среды и инициирование реакций окисления в твердом веществе. Это способствует дальнейшему пиролизу материала. В результате происходят кумулятивное повышение температуры и, в конечном счете, загорание плавков, т.е. образование пламени.

Природа полимерных материалов такова, что их невозможно сделать полностью безопасными в отношении действия огня. Единственное, что реально — это снижение их способности к загоранию и поддержанию горения. Для этой цели применяют добавки — антипирены, которые не только затрудняют воспламенение и снижают скорость распространения пламени [1], но и влияют на механические свойства композиций.

Механические свойства модифицированных полимеров во многом определяются совместимостью компонентов, т.е. их взаимной растворимостью. В этой связи необходимы построение диаграмм состояния модифицированных систем и определение параметров термодинамического сродства полимера к антипирену. Величина термо-

динамического сродства влияет на вид концентрационной зависимости температуры стеклования T_c , что обычно связывают с соответствующим изменением структуры полимера [2]. Однако исследования, в которых сопоставлялось бы понижение T_c с изменением структурных параметров систем при модификации, практически отсутствуют.

В настоящей работе изучена структура систем полиметилметакрилат (ПММА) – алкилгалоидофосфаты методами светорассеяния и спектра мутности во всем диапазоне составов, построены их диаграммы состояния и определены температуры стеклования T_c .

Исследовали ПММА с $M_n = 4,8 \cdot 10^4$, полученный эмульсионной полимеризацией. Формулы и свойства антипиренов приведены в таблице. Растворы ПММА в антипиренах с массовой долей полимера $\omega_2 < 0,4$ готовили при 390–405 К в течение нескольких суток. Растворы с $\omega_2 > 0,4$ получали в виде пленок. Для этого в определенных соотношенияхсливали антипирены и растворы ПММА в толуоле. Полученные смеси фильтровали через тefлоновую ткань на целлофановую подложку и для испарения толуола выдерживали в течение нескольких суток при 293 К, а затем при 323 К до постоянной массы. Толщина полученных пленок составляла $(0,2\text{--}0,5) \cdot 10^{-3}$ м.

Температуры фазового разделения $T_{\phi,p}$ растворов с $\omega_2 < 0,6$ определяли методом точек помутнения [4], для растворов с $\omega_2 > 0,6$ использовали рефрактометрический метод [5], поскольку из-за

Основные физико-химические константы антиприренов

Антиприрен	Название	Структурная формула	Показатель преломления n_D [3]	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³ [3]
1	2-Этилгексил-бис-(2-хлор-пропил)fosфат	$C_8H_{17}O \backslash$ $P \rightarrow O$ $(ClC_3H_6O)_2 \diagup \diagdown$	1,453	1,1100
2	Бромпропилбромэтилхлор-этилфосфат	$BrC_3H_6O \backslash$ $BrC_2H_4O - P \rightarrow O$ $ClC_2H_4O \diagup$	1,494	1,6900
3	Бис-(1,3-дихлор-изо-пропил)-изодецилфосфат	$(Cl_2C_3H_5O)_2 \diagup \diagdown$ $P \rightarrow O$ $C_{10}H_{21}O \diagup$	1,461	1,0250

большой вязкости систем, препятствующей фазовому разделению, и малой разницы показателей преломления компонентов помутнение было незначительным. Светорассеяние измеряли по методике [6]. Кюветы для измерения угловой зависимости светорассеяния разбавленных растворов имели цилиндрическую форму диаметром $14,5 \cdot 10^{-3}$ м с двумя плоскопараллельными гранями, располагаемыми перпендикулярно к падающему пучку света. Для измерения светорассеяния концентрированных растворов и пленок использовали плоскую стеклянную кювету толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м, которую склеивали из металлического кольца диаметром $15 \cdot 10^{-3}$ м со строго параллельными поверхностями и двух стеклянных пластиинок толщиной $0,17 \cdot 10^{-3}$ м. В большинстве опытов знание абсолютного значения интенсивности не требовалось, поэтому ее выражали пропорциональной величиной I в делениях шкалы милливольтметра. Растворы и растворители обеспыливали фильтрованием под избыточным давлением ~ 2 атм через тефлоновую ткань.

Оптическую плотность D определяли с помощью фотоэлектрического колориметра ФЭК-56 в диапазоне длин волн $\lambda = 400-582$ нм. Данные по оптической плотности обрабатывали методом спектра мутности, теория которого изложена в работах [7-9]. Для этого строили графики зависимости $lgD - lg\lambda$ и определяли тангенсы углов наклонов m получаемых прямых, величины которых связаны с параметром $\alpha = 2\pi r/\lambda$, где r — радиус рассеивающих свет частиц (РСЧ).

На рис. 1 представлены диаграммы состояния исследованных систем. Видно, что все системы обладают верхней критической температурой растворения (ВКТР), т.е. расслаиваются при охлаждении. Однако растворы ПММА с $\omega_2 > 0,7$ не разделяются на фазы, поскольку ниже 333 К они находятся в стеклообразном состоянии.

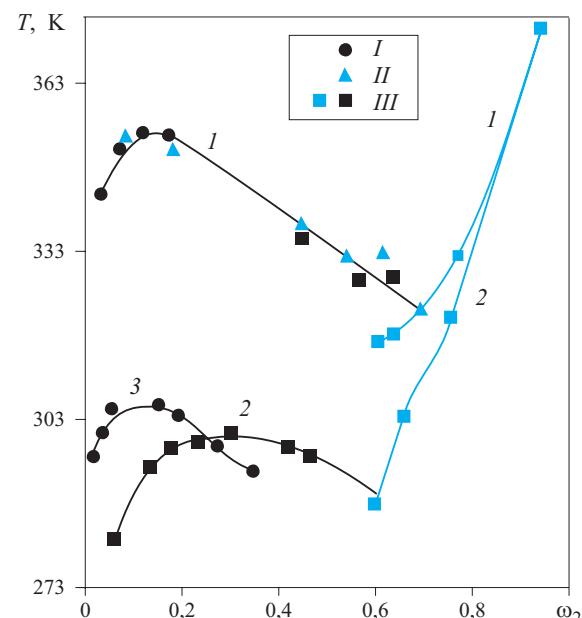


Рис. 1. Концентрационная зависимость температур фазового разделения и T_c систем ПММА – антиприрен 3 (1), ПММА – антиприрен 2 (2), ПММА – антиприрен 1 (3). Точки определены методами помутнения (1), светорассеяния (2) и рефрактометрически (III)

Величина ВКТР зависит от химического строения молекул антиприренов: с уменьшением длины алкильных радикалов и с введением в молекулы антиприренов атомов галогенов ВКТР понижается. Это согласуется с результатами работы [10] и обусловлено возможностью образования донорно-акцепторных связей с участием d-орбиталей атомов галогенидов антиприренов и неподеленной электронной пары атома кислорода карбонильной группы ПММА, что показано методом ИК-спектроскопии [11].

На рис. 2 приведены результаты исследования концентрационной зависимости светорассеяния

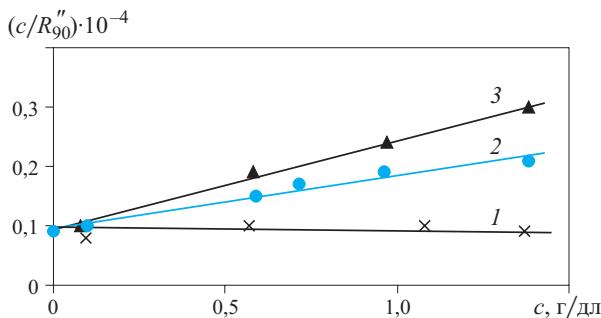


Рис. 2. Концентрационная зависимость c/R''_{90} для системы ПММА – антиприрен 2 при $T = 298$ (1), 323 (2) и 343 К (3)

R''_{90} разбавленных растворов ПММА в антиприрене 2, определенного при разных температурах под углом рассеяния $\theta = 90^\circ$. Асимметрия светорассеяния растворов составляла 1,1, поэтому при обработке результатов по методу Дебая поправку на внутримолекулярную интерференцию не вводили [12]. Из-за малой разницы (~0,001) показателей преломления компонентов не могли определить с требуемой точностью оптическую постоянную $K = 2\pi^2 n_0^2 (dn/dc)^2 / \lambda^4 N_A$ (n_0 — показатель преломления антиприrena; dn/dc — инкремент показателя преломления; c — концентрация раствора; N_A — число Авогадро) и ограничились построением концентрационной зависимости c/R''_{90} (см. рис. 2). Видно, что зависимости $c/R''_{90} = f(c)$ представляют собой прямые линии, тангенс угла наклона которых равен $2A_2/K$, т.е. пропорционален второму вириальному коэффициенту A_2 . При понижении температуры эта величина уменьшается и при 298 К становится отрицательной, что свидетельствует об ухудшении средства ПММА к антиприрену, приводящему к фазовому разделению системы.

Для системы ПММА – антиприрен 3 наблюдается увеличение светорассеяния при понижении температуры, что свидетельствует о росте оптической микронеоднородности растворов вследствие ухудшения термодинамического средства между компонентами. Температуры, начиная с которых наблюдается резкое возрастание светорассеяния, обусловленное фазовым разделением, удовлетворительно совпадают с $T_{\phi,p}$, определенными методом точек помутнения (см. рис. 1). Растворы с $\omega_2 > 0,65$ при охлаждении переходят в стеклообразное состояние раньше, чем реализуется фазовое разделение, поэтому светорассеяние практически не изменяется с температурой.

При исследовании концентрационных зависимостей светорассеяния растворов ПММА при разных температурах была установлена экстремальная зависимость $I = f(\omega_2)$: с увеличением концентрации полимера светорассеяние вначале возрас-

тает, а затем уменьшается. Аналогичная зависимость для систем полимер – растворитель была обнаружена в работах [13–15].

Возрастание светорассеяния с концентрацией полимера связывают с ассоциацией макромолекул и увеличением числа РСЧ. Последующее понижение светорассеяния свидетельствует об уменьшении размеров флуктуаций концентраций, рост которых может тормозить увеличивающаяся вязкость системы, обусловленная образованием флуктуационных сеток. По мере увеличения концентрации эти сетки упорядочиваются, что приводит к уменьшению светорассеяния. Можно предположить, что такие процессы происходят в модифицированных антиприренами системах. Так, при контакте ПММА с антиприреном сначала происходит межструктурное набухание, затем внутриструктурное, сопровождающееся распадом и разупорядочением надмолекулярных структур. Это вызывает уменьшение T_c (см. рис. 1) и возрастание светорассеяния. При дальнейшем разбавлении образуются, по-видимому, более или менее упорядоченные флуктуационные пространственные сетки, которые распадаются затем на отдельные ассоциаты и молекулы. Максимальной микронеоднородностью обладают растворы критических составов, для которых характерно максимальное значение светорассеяния. При приближении к критической температуре эта микронеоднородность возрастает, что проявляется в увеличении светорассеяния.

Приведенные выше данные были использованы для расчета размеров флуктуаций концентраций $(\Delta\bar{\omega}_2)^2$ в пластифицированных системах по уравнению [14, 15]:

$$(\Delta\bar{\omega}_2)^2 = \frac{2\lambda^4 I}{\pi^2 V (dn^2/dc)^2},$$

где $V = 10^{-21} \text{ м}^3$;

dn^2/dc — инкремент квадрата показателя преломления.

На рис. 3 приведены концентрационные зависимости среднего размера флуктуаций концентраций при критических температурах и 298 К. Видно, что эти зависимости экстремальны, максимальные размеры флуктуаций наблюдаются в растворах критического состава.

Для системы ПММА – антиприрен 2 значение $(\Delta\bar{\omega}_2)^2$ в несколько раз выше, чем для системы ПММА – антиприрен 3. Это свидетельствует о большем разупорядочении исходной структуры полимера в первой системе и сопровождается более резким понижением T_c ПММА (см. рис. 3, б).

Различие в значениях $(\Delta\bar{\omega}_2)^2$ свидетельствует о разных величинах РСЧ в данных системах. Для определения их размеров использовали метод

спектра мутности. На рис. 4 представлены концентрационные зависимости параметра m , величина которого обратно пропорциональна размерам РСЧ. Оказалось, что в гетерогенной области размеры частиц больше 2,5 мкм и не могут быть оценены более точно, поскольку $m < 1,9$ [8]. Однако по характеру концентрационной зависимости m можно качественно проследить изменение размеров. Так, для растворов с $\omega_2 = 0,3\text{--}0,6$ параметр m для системы ПММА – антипирен 2 меньше, чем для системы ПММА – антипирен 3. Следовательно, размеры частиц в первой системе больше, чем во второй, что согласуется с данными по размерам флуктуаций концентраций (см. рис. 3). Таким образом, малым гомофазным флуктуациям отвечают малые РСЧ, образующиеся при фазовом разделении. Меньшие размеры частиц в системе ПММА – антипирен 3 обусловлены, по-видимому, большей степенью перехлаждения, т.е. большим удалением в гетерогенную область от критической температуры ($\Delta T = 55$ К, см. рис. 1). Для другой системы ΔT мало и составляет 3 К, т.е. система находится вблизи критической температуры, для которой характерно наличие больших флуктуаций состава [9].

Из рис. 4 следует, что для системы ПММА – антипирен 3 в гетерогенной области в диапазоне составов $0,10 < \omega_2 < 0,065$ параметр m не изменяется, что свидетельствует о постоянстве размеров РСЧ, а для системы ПММА – антипирен 2 при разбавлении параметр m возрастает, т.е. радиусы частиц уменьшаются и достигают 1,5 мкм для $\omega_2 = 0,16$.

Неизменность с разбавлением радиусов РСЧ в системе ПММА – антипирен 3 может быть обусловлена тем, что при 298 К система находится в стеклообразном состоянии, поэтому разрушение частиц антипиреном затруднено. Система ПММА – антипирен 2 при 298 К находится выше T_c , поэтому при добавлении антипирена может происходить разрушение крупных РСЧ.

Приведенный материал свидетельствует о том, что зависимость светорассеяния модифицирован-

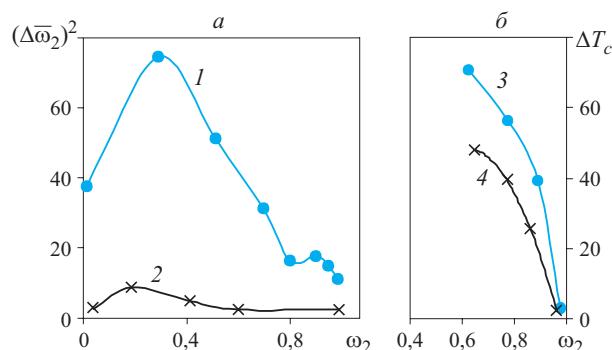


Рис. 3. Концентрационная зависимость $(\Delta\bar{\omega}_2)^2$ (1, 2) и ΔT_c (3, 4) систем ПММА – антипирен 2 (1, 3) и ПММА – антипирен 3 (2, 4) при критических температурах (а) и при 298 К (б)

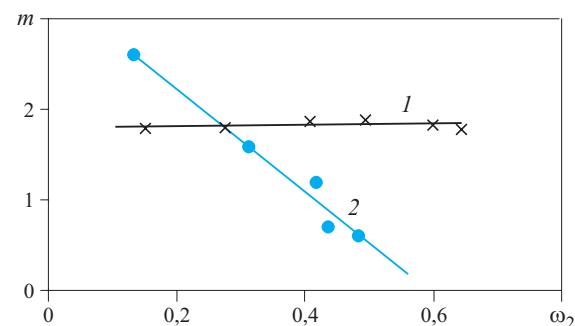


Рис. 4. Концентрационная зависимость параметра m для систем ПММА – антипирен 3 (1) и ПММА – антипирен 2 (2) при 298 К

ных антипиреном систем от концентрации носит экстремальный характер. Понижение T_c при введении в ПММА антипиренов, обусловленное распадом и разупорядочением надмолекулярных структур полимера, сопровождается увеличением светорассеяния и размеров флуктуаций концентрации. Максимальные значения светорассеяния и флуктуаций концентрации отвечают растворам критического состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маския, Л.** Добавки для пластических масс / Л. Маския // Пер. с англ. — М.: Химия, 1978. — 184 с.
2. **Тагер, А. А.** Физикохимия полимеров / А. А. Тагер. — М.: Химия, 1978. — 544 с.
3. **Разинская, И. Н. / И. Н. Разинская, В. А. Агеева, Н. И. Ермилина [и др.]** // Пласт. массы. — 1977. — № 1. — С. 27.
4. **Вшивков, С. А.** Методы исследования фазового равновесия растворов полимеров / С. А. Вшивков. — Свердловск: Издательство Уральского ун-та, 1991. — 100 с.
5. **Вшивков, С. А.** Фазовые переходы в полимерных системах, вызванные механическим полем / С. А. Вшивков, Е. В. Русинова. — Екатеринбург: Издательство Уральского ун-та, 2001. — 172 с.

6. **Tager, A. A.** / A. A. Tager, C. A. Вшивков, О. Э. Поляк [и др.]. — Высокомолек. соед. А. — 1982. — Т. 24, № 3. — С. 661.
7. **Heller, W.** / W. Heller, H. L. Bhatnagar, M. J. Nakagaki // Chem. Phys. — 1962. — Vol. 36, № 5. — Р. 1163.
8. **Кленин, В. И.** Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем / В. И. Кленин, С. Ю. Щеголев, В. Н. Лаврушин. — Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1977. — 178 с.
9. **Кленин, В. И.** Термодинамика систем с гибкоцепными молекулами / В. И. Кленин. — Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1995. — 736 с.
10. **Вшивков, С. А.** Фазовые диаграммы систем полиметилметакрилат – антипирены и термо-динамическая совместимость компонентов / С. А. Вшивков, С. Н. Пазникова, Е. В. Русинова // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 29–31.
11. **Разинская, И. Н.** / И. Н. Разинская, В. А. Извозчикова, Б. П. Штаркман [и др.] // Высокомолек. соед. А. — 1981. — Т. 23, № 12. — С. 2738.
12. **Эскин, В. Е.** Рассеяние света растворами полимеров / В. Е. Эскин. — М.: Наука, 1973. — 352 с.
13. **Debye, P.** / P. Debye, A. M. Bueche // J. Chem. Phys. — 1950. — Vol. 18, № 11. — Р. 1423.
14. **Tager, A. A.** / A. A. Tager, B. M. Андреева, Е. М. Евсина. — Высокомолек. соед. А. — 1964. — Т. 6, № 10. — С. 1901.
15. **Tager, A. A.** / A. A. Tager, A. A. Аникеева, В. М. Андреева [и др.] // Высокомолек. соед. А. — 1968. — Т. 10, № 7. — С. 1661.

Поступила в редакцию 27.07.07.



Канд. хим. наук, профессор кафедры "Технологии переработки пластических масс" УГЛТУ
В. М. Балакин



Канд. хим. наук, доцент кафедры "Технологии переработки пластических масс" УГЛТУ
Ю. И. Литвинец



Аспирант кафедры "Технологии переработки пластических масс" УГЛТУ
Е. Ю. Полищук



Студент инженерно-экологического факультета УГЛТУ
А. В. Рукавишников

УДК 620.197.6

ИЗУЧЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Представлены результаты исследования огнезащитной эффективности азотфосфорсодержащих антипиренов для древесины, полученных на кафедре технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ); определены расходы огнезащитных средств для I и II групп огнезащитной эффективности.

Древесина играет важную роль в развитии промышленности, архитектуры, в создании новых конструкций и оборудования. В настоящее время, несмотря на появление новых синтетических материалов, способных заменить древесину, ее значение для строительства и промышленности не снижается [1]. Это объясняется тем, что этот материал не только легко поддается механической обработке, но и обладает рядом других ценных свойств, таких как относительно высокая прочность, небольшая плотность, малая теплопроводность. Однако серьезным недостатком древесины, ограничивающим ее конструктивное использование, является повышенная горючесть, обусловленная органической природой материала.

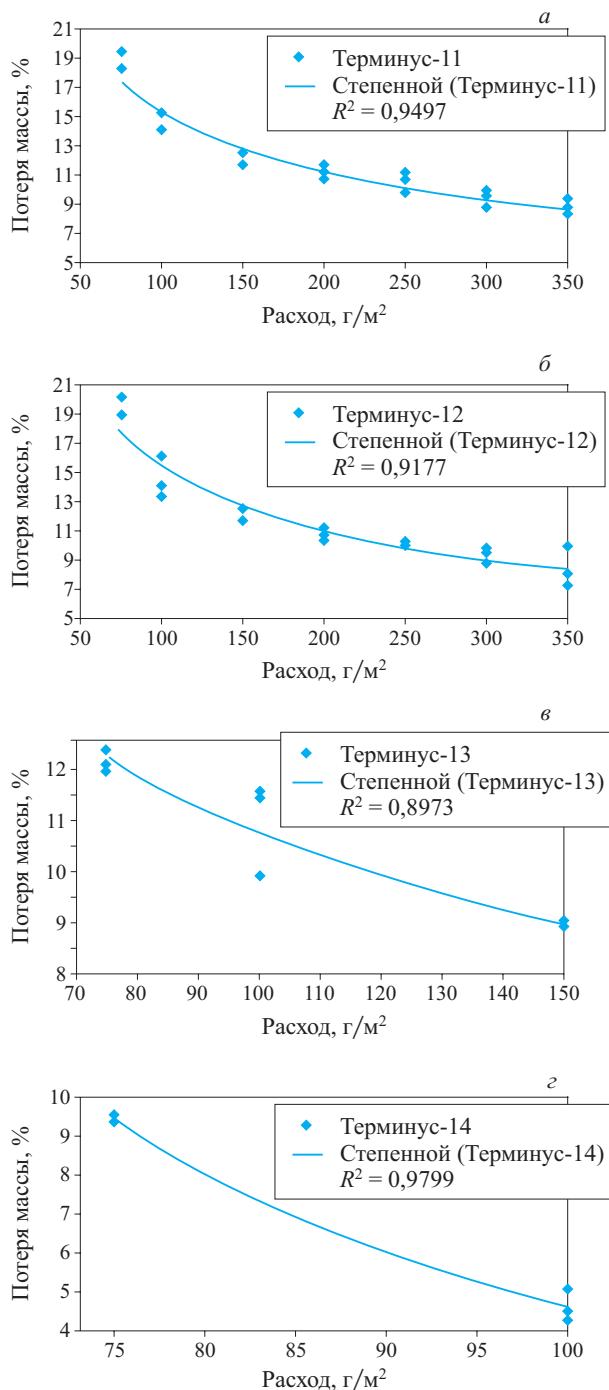
Среди множества разработанных средств огнезащиты древесины наиболее эффективными явля-

ются азотфосфорсодержащие составы интумицентного (вспенивающегося) типа. Важным преимуществом вспучивающихся покрытий и составов является возможность применения их в виде относительно тонких защитных слоев, толщина которых растет лишь в процессе высокотемпературного нагрева, предпочтение азотфосфорсодержащих соединений объясняется синергическим эффектом системы азот – фосфор [2].

Ранее на кафедре технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) были разработаны рецептуры получения огнезащитных составов на основе фосфорсодержащих олигомеров и изучено влияние этих соединений на горючность древесных плит [3–6].

Таблица 1. Физико-химические показатели огнезащитных составов

Показатель	Терминус-11	Терминус-12	Терминус-13	Терминус-14
Внешний вид	Прозрачная бесцветная или окрашенная в светло-коричневый цвет жидкость	Прозрачная жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета	Прозрачная бесцветная или слабоокрашенная жидкость	Прозрачная бесцветная или окрашенная в желтые цвета жидкость
Плотность, г/см ³	1,19–1,22	1,19–1,22	1,05–1,15	1,19–1,22
Условная вязкость по вискозиметру В3-246 с соплом 4 мм при температуре (20±2)°С, с	12–15	12–15	12–15	12–15
pH раствора	6,5–7,5	6,5–7,5	2–3	1–2



Результаты сертификационных испытаний огнезащитных составов Терминус-11 (а), Терминус-12 (б), Терминус-13 (в) и Терминус-14 (г)

В данной работе изучена эффективность огнезащитных составов: Терминус-11, 12, 13 и 14 [7] на основе азотфосфорсодержащих соединений органической и неорганической природы мономерного и олигомерного типа, способствующих образова-

Таблица 2. Результаты сертификационных испытаний в лаборатории ГУ ГОЧС Свердловской обл.

Состав	Расход состава, г/м ² , для группы огнезащитной эффективности	
	I	II
Терминус-11	350	75
Терминус-12	350	75
Терминус-13	150	75
Терминус-14	100	75

нию под действием пламени карбонизированного пенослоя, препятствующего распространению огня. Физико-химические показатели составов приведены в табл. 1.

Для сравнительной оценки огнезащитной эффективности опытных составов был использован метод огневой трубы по ГОСТ 17088–71 [8], заключающийся в определении потери массы и времени самостоятельного горения образцов древесины сосны размером 100×35×5 мм, подвергнутых воздействию пламени спиртовой горелки в течение 2 мин.

Для определения группы огнезащитной эффективности в процессе разработки составов применялся метод, описанный в ГОСТ 16363–98 [9], с использованием установки типа ОТМ.

Огнезащитные составы Терминус-11, 12, 13, 14 были сертифицированы по НПБ 251–98 ГУ ГОЧС Свердловской обл. Результаты сертификационных испытаний приведены на рисунке и в табл. 2.

Как видно из приведенных данных, составы марки ТЕРМИНУС® имеют высокую огнезащитную эффективность при низком расходе. Расход составов Терминус-11 и 12 для получения I группы огнезащитной эффективности составляет 350 г/м², что сравнимо с расходом наиболее эффективных известных огнезащитных составов. Для получения I группы огнезащитной эффективности достаточно 2–3-кратной обработки с промежуточной естественной сушкой слоев в течение 4–6 ч.

Терминус-13 относится к группе органорасторимых огнезащитных составов, содержит органический растворитель и, как следствие, обладает высокой водостойкостью, что позволяет применять его для защиты древесины, эксплуатируемой в условиях высокой влажности.

Уникальным по расходу для I группы огнезащитной эффективности (100 г/м²) является Терминус-14.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Асеева, Р. М.** Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. — М.: Наука, 1981. — 280 с.
2. **Weil, E. D.** Encyclopedia of chemical technology / E. D. Weil. — New York, 1980. — Vol. 10. — P. 348–419.
3. **Балакин, В. М.** Исследование огнезащитных составов на основе полиизопропиламинопропаноламинометиленфосфонатов / В. М. Балакин, Ю. И. Литвинец, М. А. Тюкина [и др.] // Технология древесных плит и пластиков: Межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1989. — С. 76–81.
4. **Балакин, В. М.** Исследование влияния огнезащитных составов из отходов химических производств на свойства древесно-волокнистых плит / В. М. Балакин, Ю. И. Литвинец, М. А. Тюкина [и др.] // Технология древесных плит и пластиков: Межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1987. — С. 88–94.
5. **Балакин, В. М.** Исследование влияния полиаминометиленфосфоната на свойства древесно-стружечных плит / В. М. Балакин, Ю. И. Литвинец, В. С. Таланкин [и др.] // Технология древесных плит и пластиков: Межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1984. — С. 76–79.
6. **Балакин, В. М.** Исследование аминометиленфосфонатов в качестве антиприенов для древесных плит / В. М. Балакин, В. С. Таланкин, Ю. И. Литвинец [и др.] // Технология древесных плит и пластиков: Межвуз. сб. науч. тр. — Свердловск, 1983. — С. 76–79.
7. **Балакин, В. М.** Сравнительная характеристика огнезащитных составов для древесины / В. М. Балакин, Е. Ю. Литвинец, Е. Ю. Полищук [и др.] // Новости строительной индустрии: Урал и Сибирь. — № 11, ноябрь 2005. — С. 34–35.
8. ГОСТ 17088–71. Пластмассы, методы определения горючести.
9. ГОСТ 16363–98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств.

Поступила в редакцию 16.07.07.



Канд. физ.-мат. наук, доцент,
доцент кафедры "Физической и
вычислительной механики" Томского
государственного университета (ТГУ)
А. Н. Субботин

УДК 536.24:533.6

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТОРФЯНОГО ПОЖАРА ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОМАССООБМЕНА С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ

Исследуется заглубление и распространение подземного пожара при меняющихся внешних условиях и разном влагосодержании. На основании численных расчетов определены критические значения влагосодержания, а также условия тепло- и массообмена слоя торфа с внешней средой, при которых горение прекращается. Проведена оценка влияния применяемого ранее осреднения по толщине слоя системы уравнений, описывающей данный процесс, на критическое значение влагосодержания и предельные условия распространения очага тления. Установлено, что при определенных условиях волна горения распространяется по слою торфа даже в отсутствие притока воздуха из внешней среды. Подтверждено высказанное ранее предположение автора о том, что при слабых потерях тепла во внешнюю среду волна горения будет распространяться по поверхности слоя, а при интенсивном теплообмене уходить в глубь слоя.

Постановка задачи. Торфяные пожары возникают, как правило, после прохождения низового пожара от очаговых источников тепла (тлеющая кочка, гнилушка), в результате чего происходит воспламенение торфа и заглубление очага горения.

Предположим, что на верхней поверхности торфяного пласта находится пористый круглый источник тепла радиусом r_0 , температура которого равна T_0 , а пористость — ϕ_{50} . Моделируя слой торфа пористой многокомпонентной многофазной реагирующей средой и предполагая, что запаса тепла достаточно для зажигания, исследуем, при каких условиях пожар на торфянике может распространяться, а при каких — затухать.

Пусть в слое торфа отсутствуют неоднородности, а условия тепло- и массообмена с окружающей средой и с подстилающей поверхностью одинаковы вдоль соответствующих поверхностей. Тогда задачу целесообразно решать в цилиндрической системе координат. Поместим начало координат в центр основания круглого источника зажигания, направим ось \bar{r} вдоль верхней поверхности слоя торфа, а ось \bar{z} — от верхней поверхности в глубь слоя. Будем учитывать испарение влаги, разложение торфа, гетерогенную и гомогенную реакции окисления кокса и оксида углерода. Тогда, в отличие от работ [1, 2], где произведено осреднение по толщине слоя, система уравнений, описывающая рассматриваемое физическое явление, будет иметь следующий вид:

$$\rho_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = -R_p; \quad \rho_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial t} = -R_{s2}; \\ \rho_3 \frac{\partial \phi_3}{\partial t} = \alpha_C R_p - R_{s3}; \quad \rho_4 \frac{\partial \phi_4}{\partial t} = \alpha_s R_p; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_5 \phi_5) + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} (\bar{r} \rho_5 \phi_5 u) + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} (\rho_5 \phi_5 v) = \\ = \alpha_g R_p + R_{s2} + R_{s3}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_5 \phi_5 c_\alpha) + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} (\bar{r} \rho_5 \phi_5 u c_\alpha) + \\ + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} (\rho_5 \phi_5 v c_\alpha) = \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{r} \rho_5 \phi_5 D_\alpha \frac{\partial c_\alpha}{\partial \bar{r}} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\rho_5 \phi_5 D_\alpha \frac{\partial c_\alpha}{\partial \bar{z}} \right) + R_{5\alpha} + R_{5s\alpha}, \quad \alpha = 1, 2, 3; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^5 \rho_j \phi_j c_{pj} \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_5 \phi_5 c_{p5} \left(u \frac{\partial T}{\partial \bar{r}} + v \frac{\partial T}{\partial \bar{z}} \right) = \\ = \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{r} \lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{r}} \right) + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{z}} \right) + \\ + q_{CO} R_{CO} + q_{s3} R_{s3} - q_{s2} R_{s2}; \quad (4)$$

$$u = -\frac{K}{\mu} \frac{\partial p}{\partial \bar{r}}; \quad v = -\frac{K}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial \bar{z}} - \rho_5 g \right); \quad (5)$$

$$p = \frac{\rho_5 RT}{M}; \quad M = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^4 \frac{c_\alpha}{M_{5\alpha}}}; \quad \sum_{\alpha=1}^4 c_\alpha = 1; \quad \sum_{j=1}^5 \phi_j = 1. \quad (6)$$

Здесь уравнения (1) — законы сохранения массы соответственно исходного конденсированного вещества (торфа), влаги, кокса и золы; (2) — уравнение сохранения массы газовой фазы; (3) — уравнения сохранения массы отдельных компонентов ($\alpha = 1$ — кислорода, $\alpha = 2$ — оксида углерода, $\alpha = 3$ — водяного пара); (4) — уравнение сохранения энергии; (5) — уравнение движения в форме Дарси в проекциях на цилиндрические оси координат \bar{r} и \bar{z} ; (6) — уравнение состояния и алгебраические соотношения, необходимые для замыкания системы уравнений (1) – (6).

Следует отметить, что данная математическая постановка получена из общей математической модели, приведенной в работе [3].

Система уравнений (1) – (6) решалась при следующих краевых условиях:

- $t = 0$:

$$\varphi_j = \varphi_{jH}, \quad j = \overline{1, 4}, \quad c_\alpha = c_{\alpha H}, \quad \alpha = \overline{1, 3}, \quad \rho_5 = \rho_{5H}, \\ T|_{\bar{r} \leq r_0, \bar{z} = 0} = T_0, \quad T|_{\bar{r} > r_0, \bar{z} = 0} = T_H, \quad T|_{\bar{z} \neq 0} = T_H, \quad (7)$$

- $\bar{r} = 0$:

$$\frac{\partial c_\alpha}{\partial \bar{r}} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial \bar{r}} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \bar{r}} = 0;$$

- $\bar{r} = L$:

$$c_\alpha = c_{\alpha H}; \quad T = T_H; \quad p = p_H; \quad (8)$$

- $\bar{z} = 0$:

$$p|_{\bar{r} > r_0} = p_e, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{r} \leq r_0} = \rho_5 g - \frac{\mu}{K} \frac{\Phi_{50}}{\Phi_5} v_w; \\ \lambda_s \left. \frac{\partial T}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{r} \leq r_0} = \bar{\alpha}_0 (T - T_0); \quad \lambda_s \left. \frac{\partial T}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{r} > r_0} = \bar{\alpha}_1 (T - T_e); \\ \rho_5 \Phi_5 D_\alpha \left. \frac{\partial c_\alpha}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{r} > r_0} = \beta_1 (c_\alpha - c_{\alpha e}); \quad (9) \\ \rho_5 \Phi_5 D_\alpha \left. \frac{\partial c_\alpha}{\partial \bar{z}} \right|_{\bar{r} \leq r_0} = \beta_0 (c_\alpha - c_{\alpha 0});$$

- $\bar{z} = h$:

$$\frac{\partial p}{\partial \bar{z}} = -\rho_s g; \quad \frac{\partial c_\alpha}{\partial \bar{z}} = 0; \quad \lambda_s \frac{\partial T}{\partial \bar{z}} = \alpha_2 (T - T_s), \quad (9)$$

где 0, e , H — индексы, соответствующие величинам, характеризующим соответственно источник зажигания, внешнюю среду и слой торфа (слой торфа в начальный момент времени и на большом расстоянии от источника зажигания); t — время, с;

r, z — безразмерные координатные оси, $r = \bar{r}/L_*$, $z = \bar{z}/L_*$;

L_* — масштаб длины, м;

T_s, T_e — температура соответственно подстилающей поверхности и окружающей среды, К;

$T_H, p_H, \rho_H, c_{\alpha H}$ — температура (К), давление (Па), плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$) и массовая концентрация α -компоненты в начальный момент времени в слое торфа соответственно;

h, L — толщина и радиус исследуемого торфяного пласта, м;

u, v — скорость фильтрации газообразных продуктов в направлении цилиндрических осей координат соответственно \bar{r} и \bar{z} , $\text{м}/\text{с}$;

$\alpha_C, \alpha_s, \alpha_g, \alpha_{CO}, \alpha_{H2O}$ — массовые доли соответственно кокса, золы, газовой фазы, оксида углерода и водяного пара, образующиеся при пиролизе торфа;

$$\alpha_C = v'_3 M_3 / v_1 M_1; \quad \alpha_s = v'_4 M_4 / v_1 M_1;$$

$$\alpha_g = \sum_{\alpha=2}^4 v'_{5\alpha} M_{5\alpha} / v_1 M_1; \quad \alpha_{CO} = v'_{52} M_{52} / v_1 M_1;$$

$$\alpha_{H2O} = v'_{53} M_{53} / v_1 M_1;$$

$v_1, v'_3, v'_4, v'_{5\alpha}$ — стехиометрические коэффициенты;

$M_3, M_{51}, M_{52}, M_{53}, M_{54}$ — атомарная масса углерода и молекулярные массы соответственно кислорода, оксида углерода, паров воды и азота, $\text{кг}/\text{кмоль}$;

λ, λ_R — лучистая теплопроводность, $\lambda = \lambda_s + \lambda_R$, $\lambda_R = 16\sigma T^3/\text{s}$;

λ_s — теплопроводность многофазной среды, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\lambda_s = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \Phi_j$;

Φ_j, ρ_j, c_{pj} ($j = 1, \dots, 5$) — объемная доля, истинная плотность и удельная теплоемкость торфа, воды, кокса, золы и газовой фазы соответственно, $\text{м}^3/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

K — коэффициент проницаемости Дарси,

$$K = k_* \Phi_5^3 / (1 - \Phi_5)^2;$$

k_* — эмпирическая константа Дарси;

Φ_5 — пористость торфа;

c_{p5}, λ_5 — удельная теплоемкость и теплопроводность газовой фазы в порах, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,

$$c_{p5} = \sum_{\alpha=1}^4 c_{p5\alpha} c_\alpha; \quad \lambda_5 = \sum_{\alpha=1}^4 \lambda_{5\alpha} c_\alpha;$$

c_1, c_2, c_3, c_4 — массовая концентрация соответственно кислорода, оксида углерода, водяного пара и инертного компонента;

R_{s2}, R_p — массовая скорость соответственно испарения влаги и разложения торфа, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$, $R_{s2} = \rho_2 \Phi_2 (k_{s2} / \sqrt{T}) \exp(-E_{s2}/RT)$;

$$R_p = k_p \rho_1 \Phi_1 \exp(-E_p/RT);$$

R_{s3} — массовая скорость окисления кокса, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$,

$$R_{s3} = (M_3 / M_{51}) s \rho_5 \Phi_5 c_1 k_{s3} \Phi_3 \exp(-E_{s3}/RT);$$

s — удельная поверхность пор, $1/\text{м}$;

μ — коэффициент динамической вязкости, Н·с/м²;
 q_{s2}, q_{s3}, q_{CO} — тепловые эффекты реакций соответственно испарения влаги, окисления кокса и оксида углерода;

R_{CO} — массовая скорость окисления оксида углерода, кг/(м³·с), $R_{CO} = T^{-2,25} k_{CO} (c_1 M / M_{51})^{0,25} \times (c_2 M / M_{52}) \exp(-E_{CO}/RT)$;

$E_{s3}, k_{s3}, E_{s2}, k_{s2}$ — энергия активации и предэкспоненциальные множители гетерогенных реакций горения кокса и испарения влаги, Дж/моль, м/с;

E_p, k_p, E_{CO}, k_{CO} — то же, гомогенных реакций разложения торфа и окисления оксида углерода, Дж/моль, 1/с;

α_1, α_2 — коэффициенты теплоотдачи, характеризующие теплообмен слоя торфа соответственно с внешней средой и подстилающей поверхностью, Вт/(м²·К); $\bar{\alpha}_1 = \alpha_1 [1 - k_1 (\rho_5 \phi_5 v_w)]$ — для пористой поверхности;

k_1 — эмпирическая константа;

v_w — скорость уноса газообразных продуктов из слоя торфа через верхнюю поверхность, которая вычислялась по эмпирической формуле, приведенной в [4], м/с;

p — давление газообразных продуктов в порах, Па;

σ — постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴); β_0, β_1 — коэффициенты массообмена слоя торфа соответственно с очагом зажигания и внешней средой, кг/(м²·с), $\beta_0 = \alpha_{0m} / c_{p5}; \beta_1 = \alpha_{1m} / c_{p5}$;

$\alpha_{0m} = \alpha_0 L_m; \alpha_{1m} = \alpha_1 L_m; 0 \leq L_m \leq 1$;

L_m — эмпирическая константа, аналог эффективного числа Льюиса — Семенова (параметр подобия процессов тепло- и массообмена);

D_α — эффективный коэффициент диффузии α -компоненты, м²/с;

W — влагосодержание; $W = (m_{\alpha_l} / m_m) \cdot 100\%$;

m_{α_l} — масса влаги;

m_m — масса сухого торфа.

Кроме того, в уравнениях (3) использованы обозначения:

$$R_{51} = -(M_{51}/2M_{52})R_{CO}; R_{s51} = -(M_{51}/M_3)R_{s3};$$

$$R_{52} = \alpha_{CO}R_p - R_{CO}; R_{5s2} = 0;$$

$$R_{53} = \alpha_{H_2O}R_p; R_{5s3} = R_{s2}.$$

Анализ результатов расчетов. При численном решении задачи система уравнений (1) — (6) и краевые условия (7) — (9) вначале приводились к безразмерному виду, а затем компоненты скорости фильтрации исключались из системы с помощью уравнений (5). Уравнения (1) расписывались в разностях по неявной разностной схеме, а для решения системы уравнений (2) — (4) использовался итерационно-

интерполяционный метод (ИИМ) [5]. С помощью этого метода система дифференциальных уравнений в частных производных была сведена к системе нелинейных конечно-разностных уравнений, которая решалась методом Ньютона.

Как было показано в работе [2], определяющими факторами при горении торфяника являются влагосодержание и тепло- и массообмен с внешней средой. Закономерности образования и заглубления очага пожара на торфянике рассматривались в работе [6], поэтому исследуем процесс распространения очага по слою торфа и проанализируем условия, при которых горение может прекратиться.

Теплофизические, кинетические и другие параметры, используемые при численных расчетах, были взяты согласно работам [7—13] равными: $\rho_1 = 1400 \text{ кг}/\text{м}^3; \rho_2 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3; \rho_3 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3; \rho_4 = 750 \text{ кг}/\text{м}^3; c_{p1} = 1970 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); c_{p2} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); c_{p3} = 967 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); c_{p4} = 940 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}); \lambda_1 = 0,074 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \lambda_2 = 0,610 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \lambda_3 = 0,186 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); \lambda_4 = 0,137 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}); E_p = 39,386 \text{ кДж}/\text{моль}; E_{s2} = 39,2 \text{ кДж}/\text{моль}; E_{s3} = 75,42 \text{ кДж}/\text{моль}; E_{CO} = 96,37 \text{ кДж}/\text{моль}; k_p = 35 \text{ с}^{-1}; k_{s2} = 6850 \text{ с}^{-1}; k_{s3} = 366,6 \text{ м}/\text{с}; k_* = 9,33 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; q_{s2} = 2,18 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}; q_{s3} = 3,29 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}; q_{CO} = 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}; q_p = 0; s = 10^5 \text{ м}^{-1}; T_H = T_s = 283 \text{ К}; T_e = 293 \text{ К}; T_0 = 750 \text{ К}; \alpha_C = 0,584; \alpha_s = 0,06; \alpha_g = 0,356; \alpha_{CO} = 0,04; \alpha_{H_2O} = 0,205; k_1 = 0,4; p_H = 10^5 \text{ Па}; T_* = 373 \text{ К}; t_* = 244,4 \text{ с}; L_* = 2,564 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, где t_* — масштаб времени; T_* — характерная температура.

Рассмотрим вначале распространение волны горения по слою торфа, влагосодержание которого составляет 15%. На рис. 1 представлены изотермы в слое торфа малой степени разложения ($\rho_1 = 60 \text{ кг}/\text{м}^3$) в момент времени $t = 52,5 \text{ ч}$, которые были получены при следующих значениях параметров: $\alpha_1 = 10,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}); \alpha_{0m} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}); \alpha_{1m} = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}); \alpha_2 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, характеризующих тепло- и массообмен торфа с внешней средой.

Во всех расчетах горение инициировалось цилиндрическим источником зажигания радиусом $r_0 = 10$, который располагался на верхней поверхности слоя, температура источника задавалась равной 750 К.

Через 1,2 ч под источником зажигания образовался очаг с высокой температурой, достигающей в центре его примерно 1100 К. Максимальные размеры очага составляли $z_{max} = 11, r_{max} = 12$. Затем источник зажигания был убран, т.е. граничные условия при $r \leq r_0$ стали такими же, как и при $r > r_0$. Через 2 ч после этого размеры очага стали равны $z_{max} = 19, r_{max} = 16$, а температура в центре очага составила 890 К. К моменту времени $t = 8,23 \text{ ч}$ очаг горения достиг нижней подстилающей поверхности,

а температура в центре очага снизилась до 780 К. В дальнейшем торOIDальная волна горения распространялась от центра в направлении оси r . Сечение тора имеет профиль, изображенный на рис. 1. Следует отметить, что волна горения в данном случае распространяется внутри слоя. У верхней поверхности испаряется влага, частично протекает реакция пиролиза, а реакции окисления идут лишь внутри торфяного пласта. Этот результат обусловлен достаточно интенсивным теплообменом с приземным слоем воздуха.

На рис. 2 приведены векторное поле скорости фильтрации и изолинии массовой концентрации кислорода в торфе для тех же параметров и того же момента времени, что и на рис. 1. Проанализировав рис. 2, можно сделать вывод, что газовая фаза движется к центру и через верхнюю поверхность уносится во внешнюю среду, кислород же практически полностью сгорает и за фронтом горения отсутствует.

Изолинии массовых концентраций паров воды и оксида углерода изображены соответственно на рис. 3 и 4. Пространственные распределения массовых концентраций компонентов несимметричны. Вследствие конвективного переноса они сдвинуты к верхней поверхности пласта. Согласно рис. 3 наибольшее количество паров воды сосредоточено в сгоревшей области. Массовая же концентрация оксида углерода достигает максимума (см. рис. 4) у нижней подстилающей поверхности. В данной области протекает процесс пиролиза торфа, но при достаточно низкой температуре, поэтому реакция окисления оксида углерода не идет. Кроме того, у подстилающей поверхности слабая конвекция. Совокупность этих факторов приводит к образованию области с максимумом оксида углерода.

В работе [2] на основе одномерной математической модели определялось критическое влагосодержание. Установлено, что при влагосодержании

$W = 200\%$ торф малой степени разложения не горит. Поэтому были проведены исследования с использованием двумерной математической модели по определению критического влагосодержания, при котором горение торфа малой степени разложения прекращается. С этой целью перед распространяющимся по торфу с $W = 15\%$ фронтом пожара задавались кольцеобразные полосы с возрастаю-

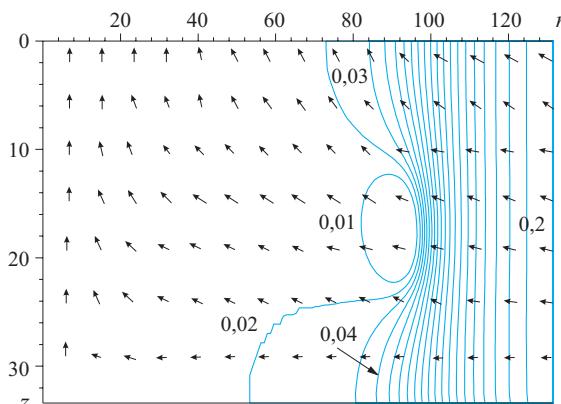


Рис. 2. Векторное поле скорости фильтрации и изолинии массовой концентрации кислорода в торфяном пласте

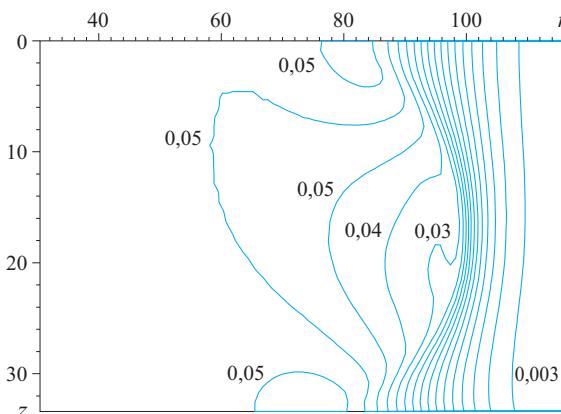


Рис. 3. Изолинии массовой концентрации паров воды

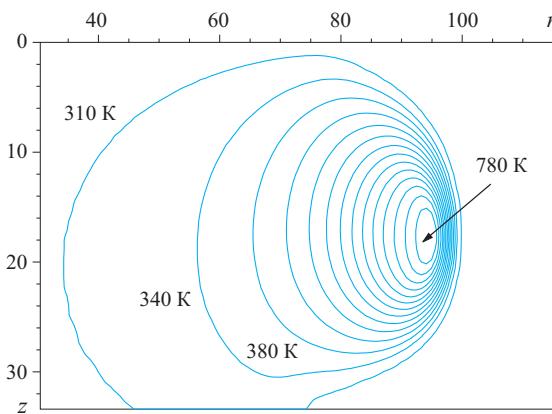


Рис. 1. Изотермы очага горения, распространяющегося от круглого источника зажигания в торфяном пласте малой степени разложения

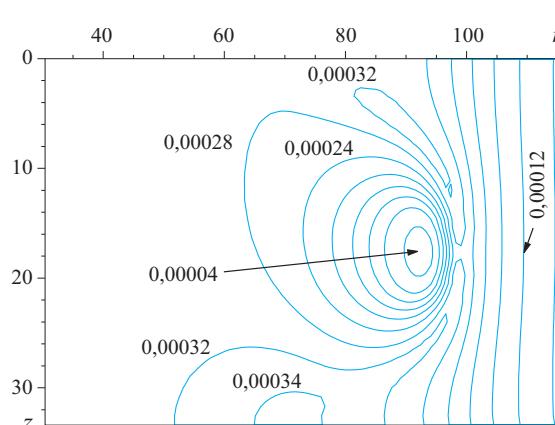


Рис. 4. Изолинии массовой концентрации оксида углерода

щим влагосодержанием: $W = 30\%$, $W = 45\%$ и т.д. На рис. 5 показаны изотермы, характеризующие размер и форму очага тления в различные моменты времени, которые были получены при тех же усло-

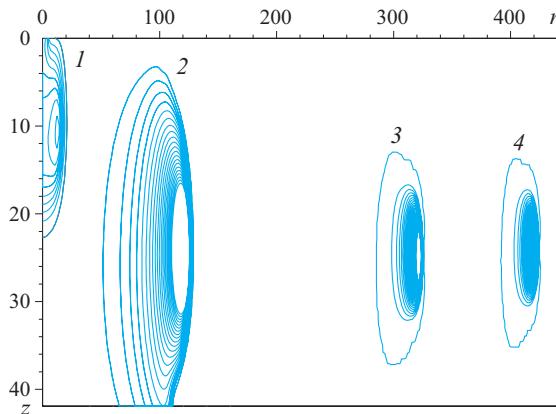


Рис. 5. Изотермы очага тления, распространяющегося по слою торфа с возрастающим в направлении радиуса влагосодержанием: 1 — $t = 0,96$ ч; 2 — $105,0$ ч; 3 — $281,38$ ч; 4 — $352,1$ ч. Во всех случаях внешняя изотерма соответствует температуре 290 К

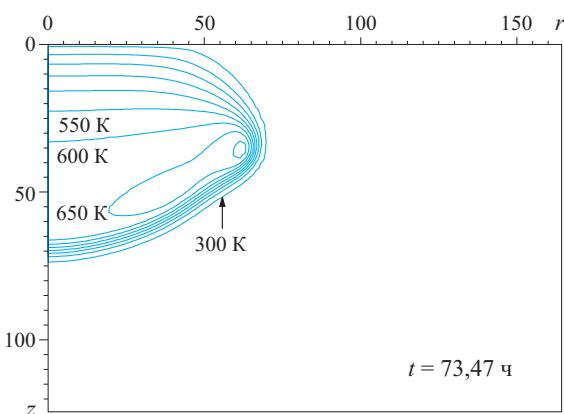


Рис. 6. Изотермы в торфяном пласте большой степени разложения

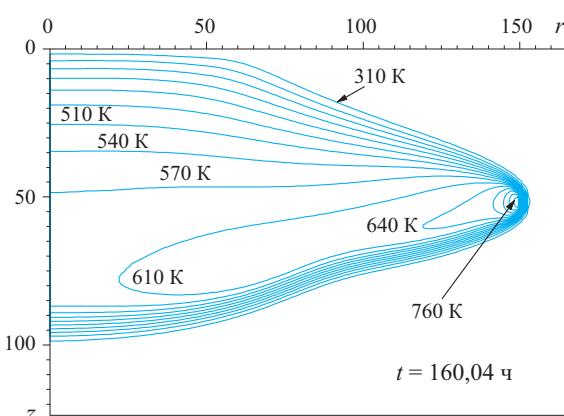


Рис. 7. Форма очага горения в толстом слое торфа при интенсивном теплообмене с внешней средой

виях тепломассообмена, что и на рис. 1. Здесь за сечением $r = 300$ влагосодержание не менялось и было равно 195%. Видно, что вначале очаг горения заглубляется и горит почти во всю толщину слоя (очаги горения 1 и 2). По мере увеличения влагосодержания размеры очага и скорость горения уменьшаются (очаги горения 3 и 4), тем не менее за сечением $r = 300$ горение торфа продолжается. В случае, когда за сечением $r = 300$ задавалось влагосодержание $W = 210\%$, горение торфяника прекращалось. Аналогичные исследования были проведены и для торфа большой степени разложения ($\rho_1 = 360 \text{ кг}/\text{м}^3$). Было установлено [2], что при $W > 100\%$ торф большой степени разложения не горит. В рамках двумерной математической модели волна горения распространяется по слою торфа с $W = 105\%$, а при $W = 115\%$ торф уже не горит.

Далее были проведены исследования по влиянию тепло- и массообмена торфяного пласта с внешней средой на закономерность распространения очага пожара. Зажигался пласт торфа большой степени разложения с 15%-ным влагосодержанием, его тепло- и массообмен с внешней средой определялся параметрами: $\alpha_1 = 12,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{0m} = \alpha_{1m} = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_2 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. К моменту времени $t = 73,47$ ч (3,06 сут) образовался очаг пожара, изотермы которого приведены на рис. 6. Если не менять условий тепло- и массообмена, то к моменту времени $t = 160,0$ ч (6,67 сут) очаг займет положение изображенное на рис. 7, т.е. произойдет заглубление очага пожара и его распространение в направлении оси r .

Рассмотрим случай, когда на верхней поверхности торфяного пласта в момент времени $t = 73,47$ ч (см. рис. 6) граничные условия были изменены. Пусть условия тепло- и массообмена после указанного момента времени стали характеризоваться параметрами: $\alpha_1 = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{0m} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{1m} = 0$; $\alpha_2 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Тогда к моменту времени $t = 221,09$ ч (9,21 сут) очаг горения (тления) займет несколько иное положение. Изотермы такого очага показаны на рис. 8. Проанализировав рис. 7 и 8, можно сделать вывод, что скорость горения в данном случае значительно уменьшилась, ширина зоны тления тоже стала меньше, тем не менее очаг горения продолжает распространяться внутри торфяного пласта.

Предположим далее, что очаг пожара, изображенный на рис. 6, накрывается непроницаемым слабо теплопроводным материалом, и условия тепло- и массообмена с внешней средой стали определяться параметрами: $\alpha_1 = 0,014 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{0m} = \alpha_{1m} = 0$; $\alpha_2 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. При этих условиях очаг тления также продолжает распространяться (рис. 9), однако скорость тления становится

еще меньше, а очаг перемещается к верхней поверхности пласта.

Рассматривалось горение торфа малой степени разложения ($W = 15\%$). Было установлено, что при горении достаточно толстого слоя торфа и относительно интенсивном уносе во внешнюю среду газовой фазы, образующейся в порах, реализуется послойное горение пласта. На рис. 10 представлены изотермы во фронте пожара, распространяющегося по слою торфа, тепло- и массообмен которого с внешней средой определяется параметрами: $\alpha_1 = 0,345 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_2 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{0m} = \alpha_{1m} = 0,138 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Данный график построен для момента времени $t = 23,65 \text{ ч}$. Вначале, после заглубления, волна горения распространяется по верхнему слою. После того как она отойдет от источника зажигания на некоторое расстояние, очаг горения уходит еще дальше в глубь слоя и образуется новая волна горения. Следует отметить, что в данном случае скорость тления торфа значительно выше, чем в предыдущих расчетах. После заглубления скорость распространения очага тления в направлении оси r составляет $\approx 5,2 \text{ см}/\text{ч}$. В предыдущих же расчетах в зависимости от варианта она была равна $0,2\text{--}0,3 \text{ см}/\text{ч}$. Возрастание скорости горения обусловлено относительно интенсивным массообменом торфяного пласта с окружающей средой. Если еще больше увеличить массообмен, то скорость распространения фронта тления тоже возрастет. Так, при горении торфа с $W = 15\%$, тепло- и массообмен которого с внешней средой задавался параметрами $\alpha_1 = 0,345 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{0m} = \alpha_{1m} = 0,31 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_2 = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, скорость распространения передней кромки тления после заглубления составляла $7 \text{ см}/\text{ч}$.

Следует отметить, что полученные численные результаты по температуре и скорости горения торфа согласуются с данными работы [14], в которой на основе полевого эксперимента было получено,

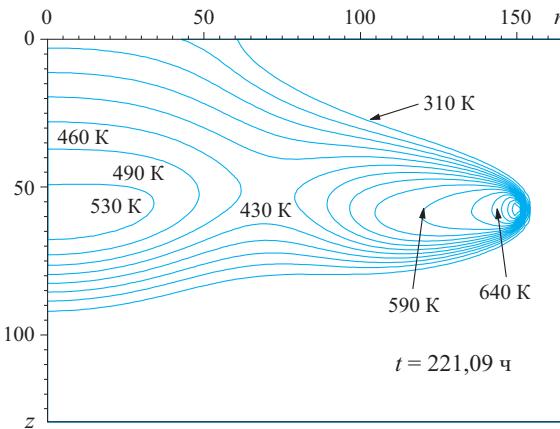


Рис. 8. Распространение очага тления в слое торфа при слабом тепло- и массообмене с внешней средой

что скорость горения торфа при $W = 15\%$ равна $7 \text{ см}/\text{ч}$, а при $W = 70\%$ — $0,7 \text{ см}/\text{ч}$. Температура же тления при конкретных условиях проведения эксперимента изменялась в пределах $623\text{--}673 \text{ К}$, а в отдельных случаях достигала 783 К .

Помимо исследования закономерностей распространения торфяного пожара, проводилось параметрическое исследование влияния коэффициента теплоотдачи α_1 и параметра подобия процессов тепло- и массообмена L_m на скорость распространения очага пожара. На рис. 11 при $W = 15\%$ показаны зависимости скорости распространения волны тления от коэффициента теплоотдачи при нескольких значениях коэффициента L_m . Согласно эксперименту [14] в данном случае при определенных внешних условиях скорость горения равна $7 \text{ см}/\text{ч}$, поэтому была проведена прямая $v_g = 7 \text{ см}/\text{ч}$. Из рис. 11 видно, что при $L_m = 1$ коэффициент теплоотдачи равен $0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (кривая 1), при $L_m = 0,4$ — $\alpha_1 = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (кривая 2), при $L_m = 0,2$ — $\alpha_1 = 7,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (кривая 3) и, наконец,

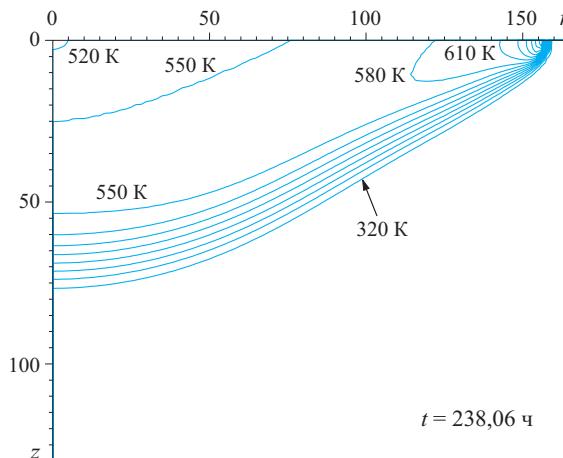


Рис. 9. Распространение очага тления по слою торфа при отсутствии массообмена и очень слабом теплообмене с внешней средой

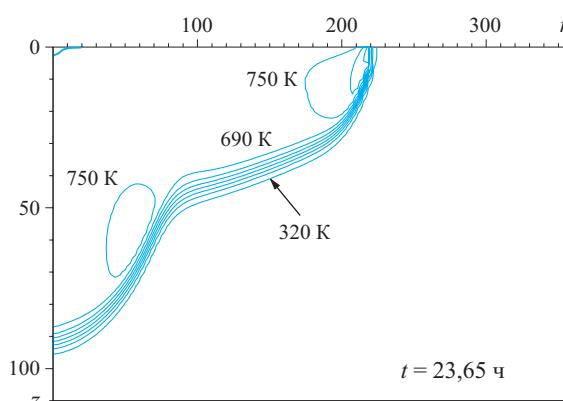


Рис. 10. Изотермы при послойном горении торфа

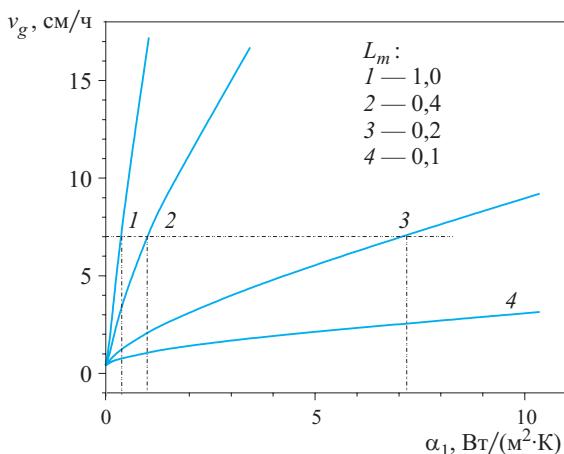


Рис. 11. Зависимость скорости тления торфа от коэффициента теплоотдачи α_1

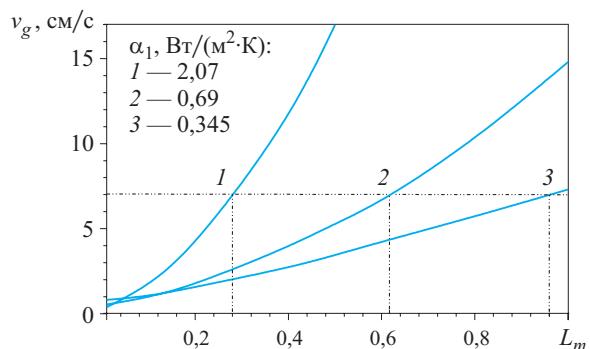


Рис. 12. Зависимость скорости распространения волны горения от параметра подобия процессов теплообмена и массообмена с внешней средой

при $L_m = 0,1$ коэффициент α_1 значительно больше $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ (кривая 4).

На рис. 12 приведены зависимости скорости распространения волны горения от параметра L_m при некоторых значениях коэффициента теплоотдачи α_1 . В работе [15] было показано, что при горении оксида углерода в воздухе числа Льюиса – Семенова

менова α -компонентов изменяются в пределах $0,5 \leq L_\alpha \leq 1,15$ при изменении температур от 300 до 1300 К. В диапазоне температур, соответствующих температуре тления торфа, числа Льюиса – Семенова изменяются в пределах $0,7 \leq L_\alpha \leq 1,1$. Среднее значение числа Льюиса для нашего случая равно 0,9. Следовательно, если предположить, что между процессами тепло- и массообмена выполняется условие $\text{Bi}_T = \bar{L} \text{Bi}_D$, то согласно рис. 12 $\alpha_1 = 0,345 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ (здесь Bi_T и Bi_D — тепловое и диффузионное числа Био). Вообще же, воздействуя на тлеющий пласт торфа, можно создать условия, при которых параметр $L_m = \bar{L}$ будет изменяться в пределах $0 \leq L_m \leq 1$.

Выходы

1. Рассматриваемая математическая модель явления позволяет определять размеры очага и скорость распространения волны горения.

2. Показано, что при определенных условиях горение торфяного пласта продолжается при отсутствии массообмена слоя с внешней средой.

3. При слабом теплообмене с внешней средой волна горения распространяется по поверхности, а при относительно интенсивном — перемещается в глубь слоя.

4. Установлено, что предельное значение влагосодержания, при котором тление торфа прекращается, достаточно хорошо согласуется с результатами, полученными по одномерной модели [2].

5. Для определения нормальной скорости горения при толщине слоя торфа менее 0,05 м можно использовать математическую модель, осредненную по толщине слоя.

6. С помощью рассмотренной математической модели можно делать прогноз, как будет распространяться горение при том или ином воздействии на границу горящего торфяного пласта и при каких условиях горение может прекратиться.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Субботин, А. Н.** Математическое моделирование распространения фронта пожара на торфяниках / А. Н. Субботин // Механика реагирующих сред и ее приложения: сб. научн. тр. — Новосибирск: Наука, 1989. — С. 57–63.
2. **Субботин, А. Н.** Влияние тепломассообмена на критические условия зажигания и горения торфяника / А. Н. Субботин // Сиб. физ.-техн. журн. — 1992. — Вып. 6. — С. 133–137.
3. **Гришин, А. М.** Математическое моделирование лесных пожаров / А. М. Гришин. — Томск: Изд-во ТГУ, 1981. — 278 с.
4. **Звягильская, А. И.** Влияние влагосодержания и тепло- и массообмена с окружающей средой на критические условия возникновения очага низового пожара / А. И. Звягильская, А. Н. Субботин // Физика горения и взрыва. — 1996. — Т. 32, № 5. — С. 99–106.
5. **Гришин, А. М.** Итерационно-интерполяционный метод и его приложения / А. М. Гришин, В. И. Зинченко, К. Н. Ефимов [и др.]. — Томск: Изд-во ТГУ, 2004. — 320 с.

6. **Субботин, А. Н.** Закономерности развития подземного пожара при разных условиях теплово-массообмена с внешней средой / А. Н. Субботин // Тепломассообмен ММФ-2000. — Минск: Изд-во НАНБ, 2000. — Т. 4. — С. 224–231.
7. **Щетников, Е. С.** Физика горения газов / Е. С. Щетников. — М.: Наука, 1965. — 739 с.
8. Теплотехнический справочник: В 2-х тт. / Под ред. В. Н. Юрёнова, Н. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1976. — Т. 2. — 896 с.
9. **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. — М.: Наука, 1972. — 720 с.
10. **Померанцев, В. В.** Основы практической теории горения / В. В. Померанцев [и др.]. — Л.: Энергия, 1986. — 310 с.
11. **Борисов, А. А.** Кинетические характеристики низкотемпературного горения торфа / А. А. Борисов, Я. С. Киселев, В. П. Удилов // Теплофизика лесных пожаров. — Новосибирск: Наука, 1984. — С. 23–30.
12. **Гришин, А. М.** Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А. М. Гришин. — Новосибирск: Наука, 1992. — 408 с.
13. **Полубаринова-Кочина, П. Я.** Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. — М.: Наука, 1977. — 664 с.
14. **Борисов, А. А.** Экспериментальные исследования и математическое моделирование торфяных пожаров / А. А. Борисов, Ал. А. Борисов, Р. С. Горелик // Теплофизика лесных пожаров. — Новосибирск: Наука, 1984. — С. 5–12.
15. **Гришин, А. М.** Выход на режим нормального горения в многокомпонентной горючей смеси / А. М. Гришин, А. Н. Субботин // Физика горения и взрыва. — 1974. — Т. 10, № 4. — С. 826–835.

Поступила в редакцию 30.07.07.



Ведущий научный сотрудник
ФГУП "Дедал" (г. Дубна)
В. А. Рудниченко



Начальник лаборатории
ФГУП "СНПО "Элерон" (г. Москва)
П. Г. Горлач

УДК 614.84

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассматривается вейвлет-преобразование, обеспечивающее повышение эффективности функционирования систем обнаружения радиационных веществ (ядерных материалов). Разработанная методика может быть применена к другим системам обнаружения нестационарных событий на фоне стационарного шума, в частности пожарно-охранной сигнализации.

Радиационная безопасность объектов и личности является важным компонентом осуществления государственной политики в области национальной безопасности [1]. В последнее время в связи с возрастанием угроз радиационного терроризма проблема повышения надежности радиационного мониторинга приобретает повышенную актуальность. Для ее решения могут быть задействованы новые методы исследования, например вейвлет-преобразование. Этот метод может найти свое применение и в других областях технических знаний, например в охранной и пожарной сигнализации.

Поиск проносимых людьми радиоактивных веществ (РВ) на пешеходных контрольно-пропускных пунктах осуществляется стационарными радиационными мониторами (РМ), обеспечивающими объемную зону контроля (обнаружения) вблизи детектора регистрации источников гамма-излучения [2]. В современных РМ применяются сцинтилляционные детекторы с органическими или неорганическими сцинтилляторами. Органические сцинтилляторы обеспечивают существенно большую по размерам зону обнаружения детектора, поэтому предпочтительнее неорганических.

Работа сцинтилляционного детектора осуществляется в счетном режиме, при котором выходной сигнал представляет собой поток отсчетов в виде количества импульсов, регистрируемых за равные, следующие друг за другом промежутки времени Δt . Отсчеты на выходе детектора образуют пуассоновский процесс $\xi(t)$, распределение вероятностей которого на временных интервалах Δt имеет вид [3]:

$$P\{\xi(t) = n\} = [(\lambda \Delta t)^n / n!] \exp(-\lambda \Delta t), \quad (1)$$

где n — количество отсчетов в течение Δt ;

λ — интенсивность потока отсчетов.

При отсутствии в контролируемой зоне гамма-источников, подлежащих обнаружению, процесс $\xi(t) = \xi_0(t)$ определяется радиационным фоном и собственным шумом детектора и является стационарным "белым шумом" с математическим ожиданием $\lambda = \lambda_0$ и дисперсией $\sigma^2 = \lambda_0$. При перемещении через зону источника на выходе детектора наблюдается нестационарный (на локальном временном интервале) процесс $\xi_1(t) = \xi_0(t) + \xi_u(t)$ с интенсивностью потока отсчетов $\lambda_1(t) = \lambda_0 + S_u(t)$, где $\xi_u(t)$, $S_u(t) = \lambda_u S(t)$ — соответственно поток отсчетов и интенсивность источника; λ_u — параметр, определяемый его типом и активностью; $S(t)$ — функция, зависящая от его геометрических параметров траектории и скорости перемещения.

Рассмотрим случай, когда источник перемещается по траектории минимальной чувствительности детектора (рис. 1). Типичные реализации про-

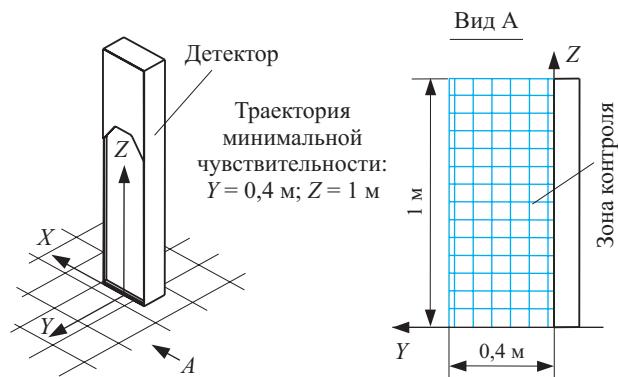


Рис. 1. Сцинтилляционный детектор и зона его контроля

цессов $\xi_0(t)$ и $\xi_1(t)$ для этого случая приведены на рис. 2, где числовые значения отсчетов даны в виде количества импульсов за время $\Delta t = 1/64$ с. С большой достоверностью можно считать, что перемещение источника происходит прямолинейно и равномерно вдоль оси X при фиксированных координатах Y и Z . Тогда с высокой точностью (погрешность не более 5%) функция $S_u(t)$ представима в виде:

$$S_u(t) = \frac{\lambda_u}{p^2(t - t_0)^2 + 1}, \quad (2)$$

где $p = v/q$;

v — скорость перемещения источника;

q — параметр, значение которого зависит от координат Y и Z (для траектории минимальной чувствительности $q = 0,5$ м);

t_0 — время пересечения точки с координатой $X = 0$.

Выражение (2) описывает математическое ожидание сигнала от источника гамма-излучения, регистрируемого детектором. Используя его, можно построить оптимальный приемник для регистрации гамма-источников, обладающий предельно достижимой мощностью обнаружения [3]. Так как параметры сигнала λ_u , p и t_0 заранее неизвестны, в алгоритм работы приемника должна быть заложена процедура их оценки. Анализ возможных способов

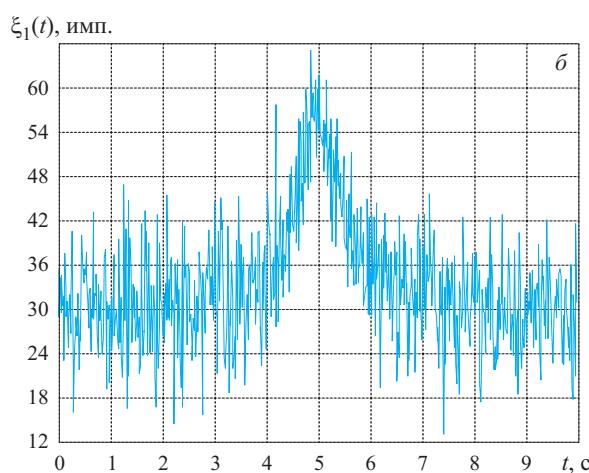
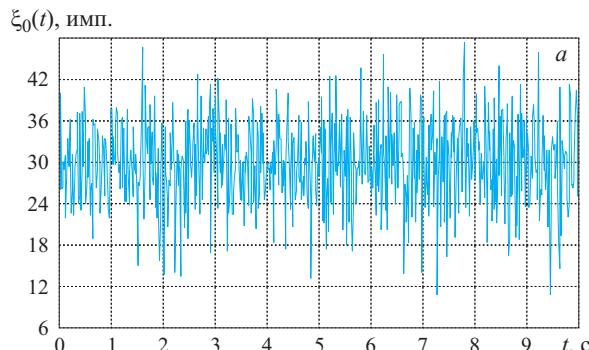


Рис. 2. Примеры реализаций процессов $\xi_0(t)$ и $\xi_1(t)$ ($\lambda_0 = 2000$ имп./с)

выполнения оценки показывает, что для рассматриваемого класса сигналов наиболее предпочтительным является использование вейвлет-преобразования, которое представляет собой особый тип линейного разложения исходного сигнала с помощью специальных базисных функций (вейвлетов) [4]. Его отличительной особенностью является то, что базисные функции адаптированы к локальным изменениям сигнала и позволяют аппроксимировать форму сигнала с гораздо более высокой точностью, чем, например, Фурье-преобразование.

Удобным инструментом для обработки сигналов является быстрое вейвлет-преобразование. В этом случае сигнал подвергается разложению на вейвлет-компоненты в соответствии с диаграммой, показанной на рис. 3. Коэффициенты аппроксимации, обозначенные как A_i , соответствуют НЧ-составляющим сигнала; детализирующие коэффициенты, обозначенные как D_i , соответствуют ВЧ-составляющим; индексы i указывают на уровень декомпозиции сигнала.

В общем случае реконструкция сигнала на j' -м уровне декомпозиции осуществляется в соответствии с выражением

$$S_u(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{j',k} \varphi_{j',k}(t) + \sum_{j=j'}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \psi_{j,k}(t), \quad (3)$$

где a — коэффициенты аппроксимации;

d — детализирующие коэффициенты;

φ и ψ — соответственно масштабирующая и базисная вейвлетные функции.

Аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} a_{j+1,k} &= \sum_m h_m a_{j,2k+m}; & d_{j+1,k} &= \sum_m g_m a_{j,2k+m}; \\ a_{0,k} &= \int S_u(t) \varphi(t-k) dt, \end{aligned} \quad (4)$$

где h , g — вейвлетные коэффициенты, однозначно связанные с масштабирующей функцией φ .

В настоящее время при обработке сигналов применяется несколько типов ортогональных вейвлетов, обеспечивающих выполнение быстрого преоб-

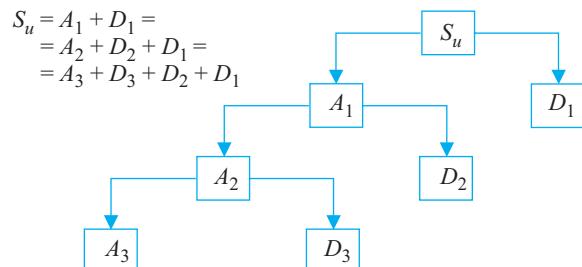


Рис. 3. Структура вейвлет-представления сигнала S_u

разования [5]. После их опробования для обработки сигналов РМ был выбран вейвлет Добеши $db5$, при использовании которого достигается приемлемая точность аппроксимации и высокая скорость обработки. Обработка сигналов осуществлялась путем устранения ВЧ-составляющих методом вейвлет-фильтрации. С использованием формул (4) производилась декомпозиция сигнала до заданного уровня, после чего все детализирующие коэффициенты обнулялись и выполнялась реконструкция сигнала по формуле (3).

На рис. 4 приведен пример выполнения указанной процедуры, где показана реализация процесса $\xi_1(t)$ до и после фильтрации (значения отсчетов даны в виде количества импульсов за время $\Delta t = 1/64$ с).

Исходный процесс представляет собой реализацию сигнала от источника гамма-излучения на фоне шума. При малых отношениях сигнал/шум оценка параметров сигнала по реализации исходного процесса крайне затруднена. Из рис. 4 видно, что после фильтрации отношение сигнал/шум увеличивается и появляется возможность выполнить оценку параметров сигнала с достаточной точностью.

Результат вейвлет-фильтрации зависит от уровня декомпозиции исходного процесса. С целью выбора уровня, обеспечивающего максимальное отношение сигнал/шум, проведены эксперименты по фильтрации шума и сигналов от гамма-источника при различных значениях p . Результаты представлены на рис. 5, где показано изменение отношения сигнал/шум при изменении уровня декомпозиции для параметра p в пределах $1-10 \text{ c}^{-1}$, что соответствует скорости перемещения источника v гамма-излучения от 0,5 до 5 м/с. Под отношением сигнал/шум понималось отношение амплитуды сигнала к среднеквадратическому значению шума, при этом отношение сигнал/шум до фильтрации равнялось единице.

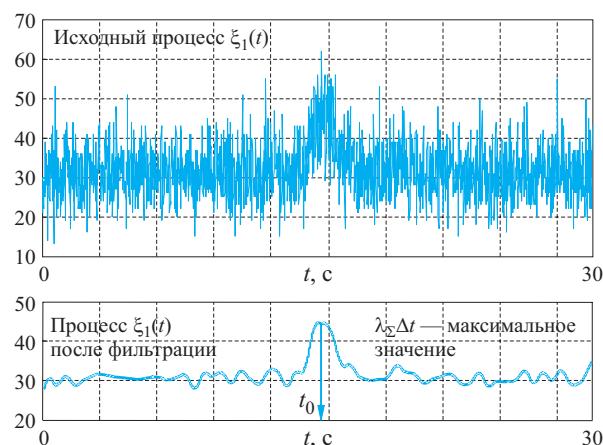


Рис. 4. Пример вейвлет-фильтрации процесса $\xi_1(t)$

Из рис. 5 видно, что для рассматриваемого диапазона p при выполнении вейвлет-фильтрации целесообразно выбрать пятый уровень декомпозиции. После фильтрации плотность распределения шума становится нормальной, спектральный состав остается “белым”. Среднеквадратическое значение шума при использовании пятого уровня декомпозиции составляет $\sigma_W = K_w \sigma_0$, где $K_w = 0,16$.

После фильтрации сигнала изменяются его амплитуда и длительность. Значения амплитуды λ_W сигнала, выраженные через коэффициент $K_s = \lambda_W/\lambda_u$, в зависимости от параметра p показаны на рис. 6.

На рис. 7 приведена зависимость длительности сигнала T_s на уровне $\lambda_W/2$ от параметра p .

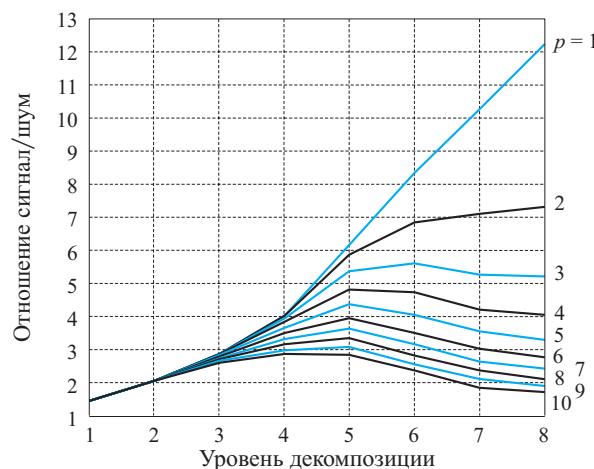


Рис. 5. Отношение сигнал/шум после фильтрации при различных уровнях декомпозиции

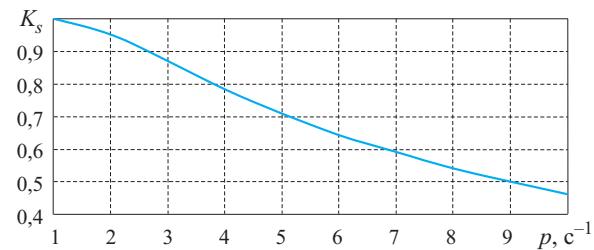


Рис. 6. Изменение амплитуды сигнала после фильтрации на пятом уровне декомпозиции

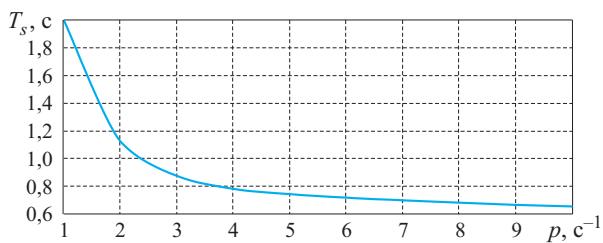


Рис. 7. Изменение длительности сигнала после фильтрации на пятом уровне декомпозиции

По результатам исследований вейвлет-фильтрации сигналов РМ определена методика оценки параметров λ_u , p и t_0 . Она состоит из следующих шагов.

1. Определение параметра λ_0 .

2. Проведение вейвлет-фильтрации текущего процесса $\xi(t)$ в скользящем временном окне длительностью не менее $T = 1,5T_s$. Для выполнения фильтрации целесообразно использовать вейвлет Добеши db5 и проводить ее на пятом уровне декомпозиции.

3. Оценка \tilde{t}_0 , которая является местоположением максимального значения $\lambda_\Sigma \Delta t$ отфильтрованного процесса, как показано на рис. 4.

4. Оценка \tilde{T}_s , которая равна временному интервалу между двумя последовательными пересечениями процесса (в моменты времени T_1 и T_2) уровня $(\lambda_\Sigma \Delta t - \lambda_0 \Delta t)/2 = \lambda_W/2$.

5. Оценка \tilde{p} в соответствии с рис. 7.

6. Определение K_s в соответствии с рис. 6.

7. Оценка $\tilde{\lambda}_u = \lambda_W/K_s$.

Определим дисперсии приведенных оценок параметров сигнала. Дисперсия $D\{\tilde{\lambda}_u\} = D\{\lambda_W\}/K_s^2$, откуда для относительной дисперсии оценки $\tilde{\lambda}_u$ получим:

$$\frac{D\{\tilde{\lambda}_u\}}{\lambda_u^2} = \left(\frac{K_{uu}}{K_0 K_s} \right)^2, \quad (5)$$

где K_0 — отношение сигнал/шум исходного процесса до фильтрации, $K_0 = \lambda_u/\sigma_0$. Например, для

$K_0 = 4$ из (5) получим, что $\tilde{\lambda}_u$ изменяется от $1,6 \cdot 10^{-3}$ при $p = 1$ до $7,6 \cdot 10^{-3}$ при $p = 10$.

Относительную дисперсию оценки \tilde{p} найдем из \tilde{T}_s . Согласно [5] дисперсия момента T_1 пересечения сигналом $S_u(t)$ фиксированного уровня: $D\{T_1\} = \sigma_W^2 / S'_u(T_1)$, где $S'_u(T_1)$ — крутизна сигнала на выбранном уровне. Аналогично: $D\{T_2\} = \sigma_W^2 / S'_u(T_2)$. Учитывая, что $T_s = T_2 - T_1$ и $p = 2/T_s$, получим:

$$\frac{D\{\tilde{p}\}}{p^2} = 2 \left(\frac{K_{uu}}{K_0 K_s} \right)^2. \quad (6)$$

Точность оценки \tilde{t}_0 найдем исходя из выражения $t_0 = (T_1 + T_2)/2$. Для среднеквадратического значения оценки получим

$$\sigma\{\tilde{t}_0\} = \frac{T_s}{\sqrt{2}} \frac{K_{uu}}{K_0 K_s}. \quad (7)$$

При $K_0 = 4$ из (7) будем иметь $\sigma\{\tilde{t}_0\} = 0,06$ с для $p = 1$ и $\sigma\{\tilde{t}_0\} = 0,04$ с для $p = 10$.

Таким образом, представленная методика позволяет производить оценку параметров сигнала радиационного монитора с достаточной для практической реализации точности. Она может быть распространена на другие ситуации обнаружения нестационарных событий на фоне высокого стационарного шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция национальной безопасности Российской Федерации.
2. **Леонов, А. Ф.** Современные методы и технические средства борьбы с радиационным терроризмом / А. Ф. Леонов, Б. В. Поленов, С. Б. Чебышов // Экологические системы и приборы. — 2000. — № 5.
3. **Тарасов, Г. П.** Статистические методы обработки информации в системах измерения ионизирующего излучения / Г. П. Тарасов. — М.: Атомиздат, 1980. — 208 с.
4. **Дьяконов, В. П.** Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 400 с.
5. **Горяинов, В. Т.** Статистическая радиотехника: примеры и задачи. Учеб. пос. для вузов / В. Т. Горяинов, А. Г. Журавлев, В. И. Тихонов; под ред. В. И. Тихонова. — М.: Сов. радио, 1980. — 544 с.

Поступила в редакцию 27.06.07.



Д-р техн. наук,
старший научный сотрудник
Академии ГПС МЧС РФ
Т. Ю. Еремина



Начальник
проектно-экспертного отдела
ООО "НИЦ С и ПБ"
С. А. Петренко

УДК 614.841.33

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ УНИКАЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Проектирование уникальных и технически сложных объектов не обходится без вынужденных отступлений от противопожарных требований действующих норм. Наличие таких отступлений обуславливает необходимость разработки технических условий на проектирование противопожарной защиты, что требует индивидуального подхода, нестандартных технических решений и дополнительных оценок обеспечения требуемого уровня безопасности.

Развиваются и расширяются города РФ, их инфраструктура и периферия, осваиваются новые площади и территории. Важнейшую роль при этом играет строительство новых зданий (сооружений). Проектируются и возводятся жилые и общественные здания, в том числе высотные, крупнейшие многофункциональные торгово-развлекательные и торгово-офисные комплексы, культурно-зрелищные учреждения, спортивно-оздоровительные комплексы, гипермаркеты, здания и сооружения промышленного комплекса, а также сложнейшие сооружения транспортной инфраструктуры.

Для проектирования этих объектов привлекаются ведущие архитекторы России и зарубежья. При строительстве применяются новые материалы, технологии, архитектурные решения, конструктивные схемы, функциональные компоновки помещений и т.д. Все это максимально приближает объекты к современным европейским технологиям и стандартам, к мировому уровню и в то же время вызывает массу противоречий с действующими в Российской Федерации нормами и правилами. Их проектирование не обходится без вынужденных отступлений от противопожарных требований действующих норм, а на отдельные объекты нормы проектирования отсутствуют вообще.

Кроме того, в проектной документации большинства вышеуказанных объектов все чаще присутствует одна из характеристик, относящая их в соответствии с Градостроительным кодексом РФ [1] к категории уникальных, а именно:

- высота более 100 м;

- заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 10 м;
- наличие конструкций и конструкционных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета с учетом физических или геометрических нелинейных свойств либо разрабатываются специальные методы расчета.

Осложняют процесс проектирования и следующие факторы [2]:

- так называемый "переходный период" в нормировании в РФ;
- строительство (реконструкция) зданий в условиях плотной и исторически сложившейся городской застройки;
- действие некоторых введенных еще в 80–90-х годах норм, которые частично морально устарели, а точнее, не учитывают в полной мере современных тенденций в архитектуре.

К числу основных вопросов, не имеющих отражения в действующих российских нормах или не удовлетворяющих практическим запросам, принадлежат следующие [2]:

- 1) защита зданий с атриумами;
- 2) защита зданий высотой более 150 м;
- 3) защита подземных автостоянок площадью свыше 3000 м²;
- 4) обеспечение эвакуации людей из торговых помещений, с автостоянок, для которых расстояние до эвакуационных выходов превышает предельно допустимые по нормам;

5) защита зданий магазинов, торговых залов, площади которых превышают допустимые размеры пожарных отсеков;

6) увеличение плотности застройки и, как следствие, несоответствие современным условиям требований к обеспечению подъезда пожарной и аварийно-спасательной техники;

7) увеличение относительно принятых норм количества подземных этажей зданий, относящихся к различным классам функциональной пожарной опасности.

Этот далеко не полный перечень проблем, возникающих при проектировании и строительстве уникальных и технически сложных объектов, а также связанных с применением нормативных документов федерального уровня, и вызывает необходимость широкого внедрения в практику проектирования и строительства уникальных объектов методов гибкого нормирования, реализуемых в специальных Технических условиях на проектирование противопожарной защиты (далее — Технических условиях).

При разработке Технических условий на проектирование противопожарной защиты уникальных и технически сложных объектов:

- проводится комплекс расчетов и научно-исследовательских работ;
- осуществляется моделирование (оценка динамики) развития пожара, его опасных факторов;
- разрабатываются и внедряются новые, эффективные системы (средства) обеспечения пожарной безопасности (активные и пассивные);
- принимаются технические решения, в том числе нестандартные (ненормативные), направленные на повышение уровня пожарной безопасности рассматриваемого объекта или компенсирующие обоснованные отступления от требований норм;
- проверяется и подтверждается расчетным путем требуемый ГОСТ 12.1.004 уровень пожарной безопасности людей.

При этом особенно важен комплексный подход, при котором учитывается взаимосвязь между динамикой пожара, системами пожарной безопасности, реакцией людей в здании, процессом эвакуации и действиями пожарных подразделений.

Современные представления о характере опасностей и угроз, которые могут быть обусловлены пожарами на уникальных и технически сложных объектах, определяют следующий комплекс целей, достижение которых должно обеспечиваться системой пожарной безопасности [2]:

- максимальная возможность предотвращения пожара;

- возможность наиболее быстрого обнаружения загорания и места расположения его очага;
- возможность ликвидации загораний и локализации пожара на ранней стадии развития;
- возможность эвакуации людей до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара;
- возможность спасения людей (в том числе маломобильных групп населения) до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара;
- защита людей, находящихся в пожаробезопасных зонах и укрытиях, от опасных факторов пожара в течение необходимого периода времени;
- ограничение распространения опасных факторов пожара за пределы очага загорания, предотвращение распространения пожара в соседние помещения, на смежные этажи как внутри здания, так и по фасаду;
- исключение распространения пожара на соседние объекты;
- сохранение огнестойкости основных несущих конструкций при свободном развитии пожара, а также исключение прогрессирующего обрушения при потере огнестойкости несущих конструкций на локальном участке;
- возможность эффективных и безопасных действий пожарных и спасательных подразделений при пожаре.

Компанией ООО “НИЦ С и ПБ”, в тесном сотрудничестве и взаимодействии с ВНИИПО МЧС России и Академией ГПС МЧС России, разрабатывались и продолжают разрабатываться специальные Технические условия на проектирование противопожарной защиты некоторых уникальных и технически сложных (особо сложных) объектов. Среди них:

- Орловский тоннель (транспортный автомобильный тоннель под рекой Невой в створе Пискаревского проспекта и Орловской улицы в Санкт-Петербурге);
- новое здание (вторая сцена) Государственного академического Мариинского театра в Санкт-Петербурге;
- торгово-офисный комплекс со встроенной подземной парковкой “Стокманн СПб Центр”;
- многофункциональный центр общегородского значения по адресу: г. Москва, ул. Кожуховская, вл. 3а, 5 и многие другие.

Орловский тоннель

Это сложнейшее подземное сооружение. Тоннельный переход в составе двух автотранспортных тоннелей (прямого и обратного направления). Заглубление самой нижней подземной части тоннеля

41 м. Длина тоннеля 1600 м. Протяженность участка закрытого способа работ 900 м. Внутренний диаметр обделки 12,35 м, наружный диаметр — 13,75 м.

Поперечное сечение основного тоннеля разделено на функциональные зоны:

- 1) средняя часть служит для одностороннего движения транспорта в одном уровне по три полосы;
- 2) сводовую часть тоннеля занимают устройства вентиляции, дымоудаления, освещения, сигнализации, связи, пожаротушения.

Интенсивность движения по тоннельному переходу составит (в сутки) более 50 тыс. транспортных единиц.

Учитывая техническую сложность и серьезную пожарную опасность этого объекта, при разработке Технических условий на проектирование противопожарной защиты производили специальные расчеты и научно-исследовательские работы (НИР), такие как:

- оценка опасных факторов пожара в тоннеле, расчет динамики опасных факторов пожара;
- определение расчетного времени эвакуации людей;
- определение предела огнестойкости железобетонной конструкции проезжей части тоннеля и его обделки;
- НИР “Оценка возможностей противопожарной службы МЧС города Санкт-Петербурга обеспечить необходимое количество сил и средств в случае возникновения пожара в транспортном тоннеле”. При этом нашли применение новейшие информационные технологии на основе компьютерных имитационных систем, что позволяет без проведения многочисленных натурных экспериментов (а в случае с тоннелем это просто невозможно) оценить возможность оперативных подразделений города своевременно прибывать к местам возникновения ЧС в самых различных реальных и гипотетических ситуациях. Такая компьютерная имитационная система “КОСМАС”, не имеющая аналогов в мире, и была использована в данной работе для оценки возможности своевременного прибытия к объекту — транспортному тоннелю сил и средств противопожарной службы МЧС города Санкт-Петербурга в случае возникновения пожара для ликвидации его последствий;
- расчеты параметров системы дымоудаления, расчеты по определению времени блокирования опасными факторами пожара выходов и времени безопасной эвакуации людей в случае пожара.

Для обеспечения пожарной безопасности объекта предусмотрены следующие основные технические решения и мероприятия.

1. На участках закрытого способа работ расстояние между межтоннельными переходами (эвакуационными сбоями) должно быть не более 250 м, а ширина выходов в свету — не менее 2 м. Эвакуация на участках открытого способа работ предусматривается в смежные тоннели по переходам через 100 м. Далее эвакуация должна предусматриваться через лестничные клетки каждого эксплуатационно-технического комплекса наружу. На уровне входа в лестничные клетки со стороны тоннелей на каждой из них следует предусмотреть помещение, предназначенное для оказания помощи пострадавшим. Эвакуационные переходы располагаются в уровне проезжей части (на 0,18–0,20 м выше покрытия для проезда автомобилей) и обеспечиваются системами подпора воздуха (не более 20 Па). Спасение людей также предусмотрено по специально выделенному проходу-тротуару над уровнем проезжей части.

2. Для организации эвакуации в тоннелях проектируется система оповещения (СОУЭ) 4-го типа, которая должна обеспечивать своевременное оповещение и управление людскими потоками, а также управление движением автотранспорта. Система обеспечивается одновременно громкоговорящей связью, звуковыми и световыми сигналами, указателями во всех зонах тоннелей.

3. Предусмотрены повышенные пределы огнестойкости конструкций тоннеля.

4. Система пожарной сигнализации тоннеля должна иметь дублированные каналы (средства) обнаружения пожара:

- дистанционные — ручные пожарные извещатели;
- визуальные — телевидеонаблюдение. Каждая точка транспортной зоны должна наблюдаться минимум двумя телекамерами. При срабатывании системы автоматической пожарной сигнализации или включении ручного пожарного извещателя система визуального контроля должна автоматически выдавать на монитор изображение аварийного участка;
- автоматические — автоматическая пожарная сигнализация транспортных зон должна предусматривать максимально-дифференциированную линейную систему, позволяющую определять скорость возрастания температуры, и интегрированную адресную систему, приемно-контрольные приборы которой должны обеспечивать прием сигналов от пожарных извещателей и других приемно-контрольных приборов, преобразование сигналов, выдачу, регистрацию

и дальнейшую передачу во внешние цепи извещений, включение оповещателей, управление внешними исполнительными устройствами.

5. При срабатывании сигнала о пожаре или иной чрезвычайной ситуации в тоннеле предусматривается прекращение доступа в тоннель транспорта, за исключением специальной аварийно-спасательной техники.

6. Предусматривается условное разделение транспортных отсеков левого и правого тоннелей на дымовые зоны длиной до 150 м каждая.

7. Вентиляторы системы вытяжной противодымной вентиляции в обособленных венткамерах притоннельных сооружений в точках "А" и "Б". Вентиляторы каждой из указанных венткамер должны быть присоединены к дымовым вытяжным каналам, расположенным под сводами транспортных отсеков левого и правого тоннелей (площадь проходного сечения каждого — до 10 м²). Подключение вентиляторов к этим каналам должно быть предусмотрено через нормально закрытые противопожарные клапаны. Проходное сечение каждого клапана должно быть не менее 890×890 мм. Шаг установки клапанов — 10–12 м. Все клапаны следует оснастить автоматически и дистанционно управляемыми приводами с групповым подключением.

8. Расчетные режимы действия вытяжных систем должны предусматривать единовременное открытие дымовых клапанов в одной зоне, если возникновение пожара происходит между ее границами, а эта зона находится в средней части тоннеля. В случае аналогичного места возникновения пожара, но на границе двух смежных зон, подлежат открытию дымовые клапаны в обеих таких зонах. При возникновении пожара на участках с максимальным уклоном дорожного покрытия следует предусмотреть единовременное открытие дымовых клапанов в трех дымовых зонах (по направлению подъема дорожного покрытия). При этом следует обеспечить расход удалаемых продуктов горения на одну дымовую зону не менее 420 тыс. м³/ч.

9. В качестве защищаемых объемов приточной противодымной вентиляцией принимаются эвакуационные лестничные клетки (в зонах границ участков открытого и закрытого способов работ) и эвакуационные сбоки. Для лестничных клеток следует предусмотреть автономные системы с непосредственным забором наружного воздуха, для эвакуационных сбоек — с забором наружного воздуха из объема транспортного отсека тоннеля, параллельного горящему.

10. Помимо системы дымоудаления, для снижения значений основного опасного фактора пожара — температуры дорожное полотно тоннеля обеспечивается дренчерной автоматической системой по-

жаротушения по площади с интенсивностью подачи воды 0,12 л/(с·м²) и возможностью одновременного тушения отсека длиной 100 м.

11. Объединенный хозяйствственно-бытовой и противопожарный водопровод рассчитывается на пропуск воды не менее 290 л/с, в том числе от пожарных гидрантов — не менее 100 л/с (для передвижной пожарной техники), от автоматических дренчерных установок — 170 л/с и от пожарных кранов — 20 л/с (4 струи по 5 л/с). Пожарные краны размещаются на стенах тоннелей (со стороны эвакуационных переходов) с шагом 40 м.

12. Дополнительно устанавливаются пожарные краны-сухотрубы для подачи раствора пенообразователя со стволом типа ОРТ-50, снабженного пеногенераторной насадкой.

13. С каждой стороны тоннеля должны быть предусмотрены пожарные депо, оборудованные специальной техникой.

Новое здание (вторая сцена) Государственного академического Мариинского театра

Здание второй сцены Государственного академического Мариинского театра по перечню размещаемых в нем помещений является зданием общественного назначения, в котором дополнительно предусматриваются три подземных этажа. Здание театра является уникальным как по планировочным решениям, так и по организации основного технологического процесса (рис. 1).

Основной особенностью проекта является устройство над зданием "золотой" оболочки, образующей такие элементы, как открытый холодный неотапливаемый внутренний двор (далее — внутренний двор) и подоболочное пространство, которое можно квалифицировать как атриум, опоясывающий основное здание (рис. 2). Оболочка является также кровлей над террасами, ресторанами и музеем, расположенными на верхних отметках здания театра. Оболочка состоит из металлических пирамид и металлических опор, при помощи которых она опирается частично на землю, а частично на здание.

К основным проблемам пожарной безопасности, связанным с отсутствием противопожарных требований и отступлениями от требований действующих норм и правил при проектировании здания второй сцены, следует отнести:

- невозможность обеспечить организацию подъездов для пожарной техники со всех сторон объекта (с одной стороны (Крюков канал) размеры проезда составляют 3,5×3,5 м);
- наличие подоболочного пространства (атриума);
- наличие трех подземных этажей.

При разработке Технических условий на проектирование противопожарной защиты производились:

- расчет динамики развития опасных факторов пожара;
- определение расчетного времени эвакуации для зрительного зала Мариинского театра;
- исследование процесса эвакуации людей из зрительного зала Мариинского театра;
- расчеты параметров систем противодымной защиты;
- расчет необходимого времени эвакуации людей при пожаре из атриумной части (подоболочного пространства);
- обоснование возможности тушения пожара силами и средствами пожарной охраны.



Рис. 1. Зал второй сцены Государственного академического Мариинского театра

Основные технические решения, направленные на обеспечение пожарной безопасности:

- В целях повышения противопожарной устойчивости здания, его огнезащиты и надежности проектом приняты повышенные пределы огнестойкости строительных конструкций здания театра.
- Здание разделено на девять противопожарных отсеков.
- Для защиты проемов в сценическом комплексе между монтажными площадками с подъемниками, арьерсценой и сценой предусмотрены противопожарные занавесы, ворота и люки с пределом огнестойкости EI 60, т.е., кроме основного традиционного противопожарного занавеса, отделяющего сценическую часть от зрительской, в сценической части театра (отдельном пожарном отсеке) предусматриваются семь противопожарных занавесов и ворот с пределом огнестойкости EI 60. Вышеуказанные занавесы при пожаре дополнительно защищаются автоматическими дренчерными завесами.
- Все эвакуационные и технологические лестничные клетки в здании выполнены незадымляемыми.
- Эвакуационные лестничные клетки обеспечиваются сухотрубами.
- Здание оснащается полным комплексом современных систем автоматической противопожарной и противодымной защиты.
- Кроме традиционных дымовых люков, в покрытии сценической части театра предусматривается механическая вытяжная система дымоудаления.
- Предложен комплекс мероприятий, компенсирующих невозможность обеспечить организацию подъездов для пожарной техники со всех сторон объекта (с одной стороны (Крюков канал) размеры проезда составляют $3,5 \times 3,5$ м).



Рис. 2. Внутренние конструкции “золотого” купола второй сцены Государственного академического Мариинского театра

Многофункциональный центр общегородского значения

Здание имеет сложную конфигурацию в плане. Габариты здания 119,5×411,5 м. Центральная торговая часть здания запроектирована как единое атриумное пространство, с опусками групп эскалаторов на уровень открытой встроенной автостоянки и световым фонарем в покрытии.

Этажность основной части здания (торгово-развлекательной с атриумом и открытой автостоянкой на отм. -3,60) — 6 этажей (на верхнем этаже размещены кинопроекционные). Этажность встроенной открытой автостоянки — 5 этажей. Площадь встроенной открытой автостоянки — до 28000 м².

К основным проблемам пожарной безопасности, отсутствию противопожарных требований и отступлениям от требований действующих норм и правил в проектируемом здании относятся:

- деление торговых этажей здания и встроенных автостоянок на пожарные отсеки противопожарными зонами (разрывами);
- наличие атриума на всю высоту здания, исключая открытую автостоянку на отм. -3,60;
- организация эвакуации по общим для нескольких пожарных отсеков лестничным клеткам.

Концепция противопожарной защиты объекта предусматривает:

- увеличение пределов огнестойкости несущих конструкций здания;
- деление здания на пожарные отсеки и противопожарные секции с учетом функциональной пожарной опасности и допустимой (нормативной) площади;
- применение противопожарных зон (разрывов) для деления частей здания на пожарные отсеки;
- изоляцию зон автостоянки от всех остальных помещений и этажей здания противопожарными стенами и перекрытиями 1-го типа;
- разработку специальной системы противодымной защиты в атриуме и примыкающих к нему помещениях.

На каждом этаже здания, в непосредственной близости от тамбур-шлюзов лифтов для перевозки пожарных подразделений, предусмотрены опорные пункты пожаротушения, оснащенные: пенными огнетушителями (3 шт.), порошковыми огнетушителями (3 шт.), газовыми огнетушителями (3 шт.), пожарными напорными рукавами длиной 20 м, диаметром 51 мм (5 шт.), пожарными напорными рукавами длиной 20 м, диаметром 66 мм (5 шт.), противогазами на сжатом воздухе (5 шт.), самоспасателями — индивидуальными средствами защиты органов дыхания (100 шт.), электрическими фонарями (3 шт.).

На автостоянках на отм. -3,60 и на кровле здания возле пожарных лифтов предусмотрены:

- помещения для хранения пожарных рукавов диаметром 66 мм со стволами в количестве 5 комплектов для тушения пожара от системы закольцованных сухотрубов;
- противопожарная зона шириной не менее 6 м — зона свободная от пожарной нагрузки без ограждающих конструкций;
- противопожарная зона с расчетной шириной не менее 2 м — коридор с ограждающими конструкциями REI 60 и подпором воздуха при пожаре.

Конструкции покрытия атриума выполнены из негорючих материалов. Металлические фермы остекления светового фонаря защищены огнезащитной краской "Терма" с пределом огнестойкости R 60.

Горизонтальное остекление светового фонаря атриума выполнено закаленным силикатным стеклом с защитой от осыпания осколков; вертикальное остекление выполнено огнезащитным стеклом с пределом огнестойкости EI 60. Вертикальное остекление атриума со стороны открытой автомобильной стоянки на кровле здания защищается спринклерной воздушно-заполненной установкой автоматического водяного пожаротушения с размещением спринклеров на расстоянии 0,5 м от стекла через каждые 2 м. Между вертикальными остекленными конструкциями светового фонаря и автостоянкой устроен противопожарный разрыв шириной 6 м.

Заключение

Технические условия на проектирование противопожарной защиты уникальных и технически сложных объектов основаны на полученных результатах расчетов и исследований, фундаментальных требованиях противопожарных норм, а также мировом опыте работы специалистов пожарной безопасности.

Практика показывает, что для обеспечения высокого уровня пожарной безопасности уникальных и технически сложных объектов целесообразно разрабатывать специальные технические условия на проектирование всего комплекса противопожарной защиты, что позволит в полной мере учесть их технологические, архитектурные и другие специфические особенности.

В основу построения системы обеспечения пожарной безопасности уникальных и технически сложных объектов заложен системный подход, позволяющий охватить все многообразие решаемых задач и комплексно использовать результаты отдельных исследований.

Для оценки эффективности системы обеспечения пожарной безопасности особо сложных и уникальных объектов, особенно объектов, на которые

отсутствуют федеральные нормы проектирования, целесообразна разработка специальных методологий по оценке пожарных рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Градостроительный кодекс РФ (ФЗ № 190 от 29.12.04 г.).
2. Определение применимости действующей нормативной документации РФ и зарубежной для высотных зданий в г. Санкт-Петербурге. — СПб: НИЦ С и ПБ, 2007.
3. ГОСТ 12.1.004. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
5. **Присадков, В. И.** Выбор рациональных вариантов пожарной защиты многофункциональных высотных зданий / В. И. Присадков, П. Н. Марчук, А. В. Федоринов // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: Матер. XIX науч.-практ. конф. — Ч. 3. — М.: ВНИИПО, 2005. — С. 69–71.
6. **Болодъян, И. А.** Противопожарная защита многофункциональных зданий, строящихся в условиях плотной городской застройки / И. А. Болодъян, В. И. Присадков, А. Н. Бородкин [и др.] // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: Матер. XIX науч.-практ. конф. — Ч. 3. — М.: ВНИИПО, 2005. — С. 67–68.
7. **Климкин, В. И.** Опыт обеспечения пожарной безопасности высотных и многофункциональных зданий в Москве / В. И. Климкин // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: Матер. XIX науч.-практ. конф. — Ч. 3. — М.: ВНИИПО, 2005. — С. 31–47.
8. **Холщевников, В. В.** Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре / В. В. Холщевников. — М.: МИПБ МВД России, 1999.
9. **Холщевников, В. В.** Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях / В. В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 4.
10. **Воробьев, Ю. Л.** Проблема обеспечения пожарной безопасности в зданиях с массовым пребыванием людей Ю. Л. Воробьев, Н. П. Колылов // Пожарная безопасность. — 2006. — № 2.
11. **Холщевников, В. В.** Людские потоки в зданиях, сооружениях и на городских территориях: Дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1983.
12. **Мешалкин, Е. А.** Нормативное и инженерно-техническое обеспечение пожарной безопасности многофункциональных зданий Е. А. Мешалкин // Технологии безопасности & инженерные системы. — 2005. — № 6.
13. **Волков, Ю.** Закон о техническом регулировании и вопросы безопасности строительных объектов / Ю. Волков, Ю. Назаров // Строительство. — 2006. — № 10.

Поступила в редакцию 07.08.07.



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

С. В. Афанасьев



Преподаватель кафедры «Пожарно-профилактических дисциплин» Тольяттинского военного технического института

P. V. Коротков



Преподаватель кафедры «Организации и управления противопожарными подразделениями» Тольяттинского военного технического института

N. N. Старков



Адъюнкт кафедры «Организации и управления противопожарными подразделениями» Тольяттинского военного технического института

A. A. Триполицын

УДК 614.841.4

СОСТАВ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Рассмотрена возможность использования состава, включающего компонент ОСА-1 для целей пожаротушения. Приведены результаты сравнительного испытания предлагаемого состава для пожаротушения с известными поверхностью-активными веществами (ПАВ).

Тушение пожаров твердых горючих материалов, таких как древесина, полимеры, торф, ткани и др., связано с определенными техническими трудностями, ибо при их горении реализуются различные механизмы термоокислительных процессов и применение обычных тушащих веществ не всегда дает хорошие результаты. Считается признанным, что эффективные огнезащитные составы, нанесенные на поверхность горючих тел, способны ингибировать процесс горения либо смещать температуру пиролиза в сторону более высоких значений, уменьшая тем самым выделение газообразных продуктов. Снижение тепловыделения наблюдается и в результате карбонизации как самого антипирена, так и горючего материала. По указанной причине наибольшая огнетушащая эффективность антипирена должна наблюдаться в том случае, если его огнезащитное действие проявляется по нескольким механизмам.

Теоретические основы огнезащиты древесины подробно изложены в монографии [1]. Необходимо, однако, отметить, что они не всегда учитывают такой важный фактор ликвидации пожара, как смачиваемость поверхности древесины. Ее снижение в результате обугливания целлюлозосодержащих материалов ухудшает съем тепла жидким теплоносителем и приводит к резкому увеличению его расхода.

Иными словами, использование охлаждения горящей древесины в качестве механизма прекращения пожара не всегда эффективно ввиду малого эффекта смачиваемости поверхности материала. Для устранения данного недостатка в отечественной и

зарубежной пожарной технике широко используются неионогенные поверхностью-активные вещества (ПАВ). Одним из представителей ПАВ данной группы является продукт ПО-6ТС марки А, Б, выпускаемый компанией «Ивхимпром» (Россия). В соответствии с действующими ТУ 0258-147-05744685-98 он является пенообразователем общего назначения и содержит не менее 27 мас. % триэтаноламиновых солей алкилсульфатов. При его использовании в качестве смачивателя готовится водный раствор ПО-6ТС марки А или Б с концентрацией 2 мас. %.

Смачивающая способность водных растворов ПАВ тесно связана с краевым углом смачивания Θ . По данным [2] для большинства ПАВ, рекомендованных к использованию в пожарной технике, величина Θ составляет около 70° . Следовательно, данные неионогенные пенообразователи не являются идеальными смачивателями, для которых краевой угол близок к нулевому значению.

В связи с этим вполне оправданы усилия по созданию более эффективных ПАВ.

Ранее сообщалось о разработке антипирена для древесины пропитывающего действия под торговой маркой «ОСА-1». Представляло интерес исследовать его в качестве компонента огнетушащего состава в сравнении с продуктом взаимодействия алкилсульфоната и триэтаноламина — ПО-6ТС.

Согласно ТУ 2499-024-00206492-06 он предназначен для снижения горючести древесины на открытом воздухе и внутри помещений путем ее по-

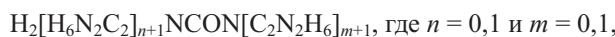
верхностной обработки и характеризуется следующими показателями качества [3, 4] (табл. 1).

Основными компонентами для его получения является карбамидоформальдегидный концентрат КФК-85 состава:

общий формальдегид, мас. %	58,5–60,5
общий карбамид, мас. %	23,5–25,5
вода	остальное,

а также аммиачная вода, карбамид и ортофосфорная кислота. Антиpirен синтезируют в виде мало-вязкого водного раствора, пригодного для использования. С целью связывания остаточного формальдегида и аммиака предусмотрен последовательный ввод на завершающей стадии процесса 1–10 мас. % карбамида или меламина в расчете на 100 мас. % карбамидоформальдегидного концентрата и ортофосфорной кислоты для доведения показателя концентрации водородных ионов (рН) готового продукта до 6,0–8,0.

Установлено, что на стадии щелочной конденсации КФК-85 с аммиаком образуется полиамин общей формулы [5]:



содержащий непрореагировавшие метилольные производные карбамида и продукты их циклизации триазинонового типа [6]. Последующий ввод карбамида на завершающей стадии процесса приводит к связыванию формальдегида с частичной поликонденсацией метилольных групп. В ходенейтрализации полиамина ортофосфорной кислотой в составе огнезащитной композиции появляются ди- и три-

Таблица 1. Показатели качества огнезащитного состава марки “ОСА-1”

Показатель	Значение показателя
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость. Допускается образование тонкой взвеси
Содержание формальдегида	Отсутствует
pH	6,0–7,5
Плотность при 20°C, г/см ³	1,15–1,25
Коэффициент рефракции, не менее	1,405
Температура замерзания, не выше, °C	Минус 15
Расход для перевода древесины в I группу огнезащитной эффективности, г/м ²	350

аммонийfosфат и амидофосфат. В образовании последнего, наряду с ортофосфорной кислотой, участвуют вторичные и третичные аминные группы с повышенной электронной плотностью атомов азота.

Таким образом, в отличие от неионогенных ПАВ продукт ОСА-1 не содержит алкильных углеводородных групп и является сложной смесью соединений различных классов. По указанной причине при его растворении в воде величина его поверхностного натяжения остается практически неизменной. Это указывает на то, что огнезащитный состав ОСА-1 не принадлежит к неионогенным ПАВ.

В то же время было предположено, что присутствующие в структуре антиpirена полярные функциональные группы, преимущественно гидроксильные и аминные, будут способствовать многоточечной адсорбции молекул на поверхности гемицеллюлозы и целлюлозы, с последующим образованием более прочных химических связей, преимущественно эфирных.

Для оценки эффективности антиpirена ОСА-1 в лабораторных условиях был применен метод сравнительного анализа, заключающийся в следующем: в одинаковых условиях проведено тушение горящих штабелей из брусков сосны размером 10×10×100 мм. Штабели состояли из 10 перекрестно расположенных рядов по пять брусков в каждом. В ходе эксперимента определяли время тушения и расход огнетушащего состава, подаваемого в виде струи на очаг пожара. В качестве прототипа, т.е. известного смачивателя, взят ПО-6ТС марки Б с концентрацией водного раствора 2 и 6 мас. %. Расход огнетушащего состава был максимально приближен к реальным условиям эксплуатации пожарной техники.

Полученные результаты представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что применение антиpirена марки “ОСА-1” в виде 2%- и 6%-ных водных рас-

Таблица 2. Зависимость времени тушения модельного очага пожара от расхода огнетушащего вещества

Расход на тушение, л/с	Время ликвидации пожара, с		
	водой	раствором ПО-6ТС	раствором ОСА-1
0,0008	65,0	–/55	–/50
0,0009	63,0	–/50	–/45
0,002	31,5	18,0/–	12,4/–
0,003	28,0	17,5/–	11,5/–
0,004	24,0	16,2/–	10–2
0,010	16,0	13,3/–	7,6/–

Примечание. Над чертой приведены данные для ПО-6ТС концентрации 2 мас. %, под чертой — 6 мас. %.

творов позволяет существенно снизить расход огнетушащего состава и сократить время тушения пожара по сравнению с чистой водой и растворами ПО-6ТС с аналогичными концентрациями.

Данный результат можно объяснить следующим образом.

Ввод карбамида на стадии синтеза полиамина приводит не только к связыванию свободного формальдегида в метилолмочевины, но и к формированию сложных надмолекулярных структур, склонных к карбонизации и вспучиванию при повышенной температуре за счет выделения низкомолекулярных соединений — воды, аммиака, углекислого газа, не поддерживающих процесс горения древесины. Интенсивное термическое разложение антипирена ОСА-1 наблюдается уже при температурах выше 110°C, что подтверждено термическим анализом обезвоженных образцов.

С другой стороны, установлено, что при контакте с нагретой поверхностью амидофосфат переходит в твердое состояние по механизму кислотной поликонденсации, замедляя тем самым скорость термоокислительного процесса. Этому способствует и концентрирование огнетушащего раствора в зоне горения.

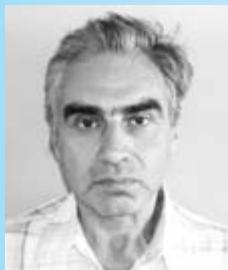
Вполне очевидно, что реализация данных механизмов обуславливает высокий эффект применения 2%-ного водного раствора антипирена ОСА-1 при тушении пожаров.

Есть основания полагать, что в связи с низкой себестоимостью получения огнезащитного состава марки “ОСА-1” открывается реальная возможность его практического использования взамен дорогостоящих и экологически небезопасных неионогенных ПАВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонович, А. А.** Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций / А. А. Леонович, А. В. Шелоумов. — СПб: СПбГПУ, 2002. — 59 с.
2. **Воевода, С. С.** Тушение пожаров твердых дисперсных материалов путем их пропитки водой со смачивателем / С. С. Воевода, С. А. Макаров, А. Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 3. — С. 78–80.
3. **Пат. № 2270752 РФ**, МПК B27 K 3/52, C 09 K 21/12. Способ получения антипирена / Махлай В. Н., Афанасьев С. В., Михайлин М. П., Коротков Р. В.; № 2004129996.; заявл. 12.10.04; опубл. 27.02.06. Бюл. № 6.
4. **Афанасьев, С. В.** Антипирен на основе КФ-концентрата / С. В. Афанасьев, Р. В. Коротков, А. В. Каришин [и др.] // Синтез, модификация и применение смол для древесных плит: сб. докл. науч.-практ. семинара. 18 ноября 2004 г. — СПб: СПбГПУ, 2004. — С. 114–117.
5. **Пат. № 2228925 РФ**, МПК C 07 C 211/13, 209/60. Способ получения полиамина / С. В. Афанасьев, В. Н. Махлай, А. С. Виноградов, М. А. Барышева; № 2002117274; заявл. 01.07.02; опубл. 20.05.04. Бюл. № 14.
6. **Афанасьев, С. В.** Химия и технология КФ-концентрата / С. В. Афанасьев // Коршуновские чтения: сб. науч. тр. Всерос. науч.-техн. конф. 1–3 марта 2003 г. — Тольятти: ТГУ, 2005. — С. 28–40.

Поступила в редакцию 28.08.07.



Канд. физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник
отдела физики плазмы Института
ядерных исследований АН Украины
Ю. С. Подзирей

УДК 629.7.614.841

АЭРОМОБИЛЬНОЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ВЫСОТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрена принципиальная схема летательного аппарата (ЛА) типа “летающая платформа” с однорежимной силовой установкой на основе спаренных линейных генераторов газа. Оценена последовательность действий подобной платформы при проведении спасательных и противопожарных операций на аварийных высотных объектах.

Для крупных городов и мегаполисов характерно наличие множества высотных зданий с развитыми коммуникациями на этажах, выполненными из полимерных материалов. Это обстоятельство способствует быстрому распространению пожаров и создает значительные трудности при эвакуации людей, находящихся выше очагов возгорания. Ситуация значительно ухудшается в случаях, когда имеют место террористические акты или квалифицированные поджоги. Даже при выполнении существующих нормативов пожарные команды не всегда успевают взять под контроль пожары выше 10-го этажа. Существующая техника, базирующаяся на многоосных автомобильных шасси, характеризуется недопустимо длительным временем прибытия к очагу возгорания.

Катастрофа 11 сентября 2001 г. в торговом центре Нью-Йорка представляла уникальное явление быстропротекающего объемного горения нескольких десятков тонн авиационного топлива. При этом были разрушены стационарные системы пожаротушения. До момента обрушения прошло более 50 мин, которых, в принципе, было достаточно для охлаждения несущих конструкций и предотвращения катастрофы. Однако даже наиболее совершенная наземная техника не способна обеспечить подачу стволов и наружных лифтов на высоту более 80 м.

В качестве аэромобильного противопожарного и спасательного средства на современном этапе рассматривается вертолет в комплексе со специальными площадками, расположенными на плоской крыше здания. Это предполагает самостоятельный выход пострадавших на крышу в условиях отключения лифтов и их нормальное физическое состоя-

ние. Наличие несущего воздушного винта и условия его работы вблизи вертикальной плоскости (стены здания) не позволяют вертолету приближаться к аварийному зданию на расстояние менее 100–150 м, а использование систем, спускаемых на тросе (импульсные стволы пожаротушения или спасательные корзины), требует их точной координатной привязки, что весьма затруднительно. Очевидно, что для тушения пожаров в высотных зданиях необходимо использовать аэромобильные транспортные средства, способные доставлять средства и материалы пожаротушения непосредственно к очагу возгорания через оконные проемы и эвакуировать через них пострадавших прямо в городские медицинские учреждения без каких-либо перегрузок.

Таким средством может быть ЛА типа “летающая платформа”, имеющий возможность стыковаться с оконным проемом и сохранять устойчивость независимо от изменения собственной массы при подаче огнегасящих составов или загрузки пострадавших. В 60-е годы в СССР и во Франции проводились работы по созданию летающих платформ, вертикальная тяга в которых обеспечивалась четырьмя турбореактивными двигателями (ТРД), работающими на эжекторные усилители тяги (ЭУТ). В работах [1, 2] описаны летающие платформы с ЭУТ массой 10–12 т, которые по весовой отдаче превосходят некоторые классы вертолетов, более просты в эксплуатации и управлении, но уступают вертолетам по продолжительности полета. Подобные платформы в силу недостаточной топливной и экономической эффективности не получили дальнейшего развития. Так, при взлетном весе 12,7 т продолжительность полета для перевозки 2 т груза

60 мин, а 6 т — 10 мин. Причина такого положения состоит в том, что ТРД спроектированы как двигатели, использующие энергию набегающего потока воздуха и имеющие на выхлопе пониженное давление. Их конструкция оптимизирована для высот 8–10 км. На небольших высотах, при малых скоростях и длительностях полетов более 3 ч экономичней поршневой двигатель, использующий дизельный топливный цикл [3]. Установившееся мнение о дизеле как априори тяжелом двигателе, имеющем значительные габаритные размеры, базируется на использовании в нем массивного кривошипно-шатунного механизма (КШМ), доставшегося ему в наследство от паровой машины 160 лет назад. Значительно более легким является реечно-шестеренчатый механизм преобразования возвратно-поступательного движения (РШМ), и в частности его сдвоенная модификация, работающая в эстафетном режиме и расположенная внутри поршня двухстороннего действия. Это позволяет включить тронк поршня и стенку блока цилиндров в силовую схему РШМ, что увеличивает максимально допустимое значение выводимого крутящего момента. Более подробно конструкция двигателя рассмотрена в работе [4].

На рис. 1 представлена кинематическая схема силовой установки (СУ) в виде двух спаренных линейных генераторов газа, которая имеет множество поршней 4, работающих в “полусвободном” режиме, т.е. на большей части своей траектории поршень жестко связан с центробежными компрессорами наддува 10. В районе “мертвых” точек одна из зубчатых реек 2 (противоположная рейка на рис. 1 не показана) посредством муфты свободного хода 8 отключается от вала отбора мощности 7 на время, необходимое для его торможения, остановки и последующего разгона до скорости, требуемой для безударного зацепления другой пары муфта – рейка. Поскольку рейки расположены на противоположных сторонах тронка, вал отбора мощности 7 имеет одностороннее вращение при возвратно-поступательном движении поршней. Для синхронизации движения в “свободном” режиме поршни имеют постоянную кинематическую связь через легкий вал синхронизации 11, совершающий разностороннее вращение. Отключение поршней при подходе к “мертвой” точке позволяет устранить ряд ограничений на параметры рабочего процесса по наддуву и максимальному давлению и довести их до величин, характерных для свободно поршневых генераторов газа [5], а также совместить эти качества с высокой частотой тактов, характерной для турбопоршневых двигателей. Для создания на выхлопе высокого давления используется короткоходовой режим. Длина хода поршня определяется уровнем, достаточным для обеспечения работы компрессора и систем обеспечения двигателя. Ма-

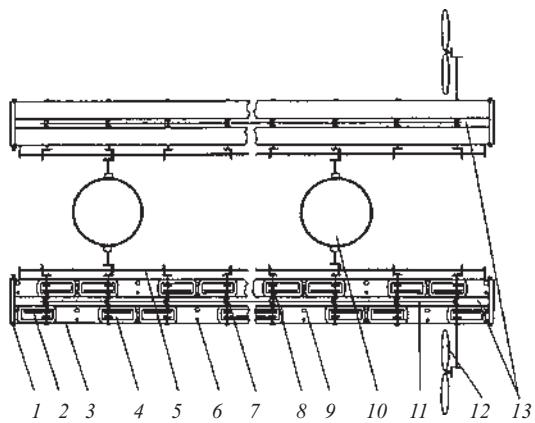


Рис. 1. Кинематическая схема силовой установки: 1 — крышка блока цилиндров; 2 — зубчатая рейка; 3 — труба блока цилиндров; 4 — поршень; 5 — трансмиссионный вал; 6 — форсунка; 7 — вал отбора мощности; 8 — муфта свободного хода реечно-шестеренчатого механизма преобразования возвратно поступательного движения; 9 — выпускной клапан; 10 — приводной центробежный нагнетатель; 11 — синхронизирующий вал; 12 — воздушный винт изменяемого шага; 13 — щель входа пассивного потока ЭУТ

кая степень сжатия в цилиндрах компенсируется сверхвысоким давлением наддува. Суммарная степень сжатия может быть доведена до 70 ед. и более. Предварительная оценка показывает, что удельный вес двигателя находится на уровне ГТД.

Однако по топливной эффективности реактивное сопло может сравняться с несущим винтом только в случае использования с наиболее совершенным ЭУТ, т.е. имеющим большой коэффициент тягоусилния (до 1,8–2), малые габаритные размеры и незначительный собственный вес. Такими качествами обладает одноступенчатый щелевой ЭУТ с периферийной подачей активного потока [6]. Использование для него обычного ГТД требует наличия системы раздачи газа, что приводит к значительным потерям энергии и увеличивает общий вес СУ. Если генератор газа выполнен в линейном виде и расположен по обе стороны щели, то такие потери отсутствуют и вес СУ сокращается.

Установка такого двигателя на летающую платформу позволяет отказаться от несущего винта, редуктора и хвостовой балки с рулевым винтом, суммарный вес которых для вертолета составляет 10–15% и растет с увеличением собственного веса. Конструкция подобной летающей платформы, предназначеннной в качестве средства для эвакуации команды с палубы корабля при любом допустимом крене и дифференте, рассмотрена в работе [7].

На рис. 2 представлены три проекции гипотетической конструкции летающей платформы. Наличие по бортам прямоугольного корпуса сдвоенных линейных генераторов газа с периферийной пода-

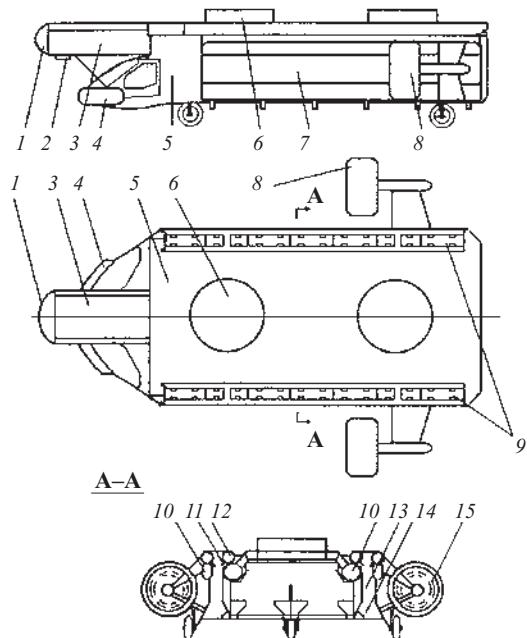


Рис. 2. Общий вид аэромобильного противопожарного средства: 1 — откидная крышка; 2 —стыковочный узел; 3 — ограждение ленточного транспортера; 4 — бампер; 5 — корпус; 6 — воздухозаборник; 7 — панели ЭУТ; 8 — кольцевое ограждение винта изменяемого шага; 9 — входная щель пассивного потока; 10 — ресивер сжатого воздуха; 11 — выхлопной патрубок; 12 — блок цилиндров; 13 — камера смешения ЭУТ; 14 — заслонка управления; 15 — винт изменяемого шага

чей активного газа в ЭУТ позволяет выбрать необходимое соотношение активного и пассивного потоков, выполнить его одноступенчатым, уменьшить габаритные размеры и повысить удельную тягу СУ в целом. Малая крейсерская скорость дает возможность расположить воздухозаборники и компрессорную часть двигателя в верхней части корпуса, что снимает ограничения на площадь проходного сечения и обеспечивает достаточную величину присоединенной к поршням маховой массы. Горизонтальная тяга и управление по курсу осуществляются винтами изменяемого шага 15 (см. рис. 2), расположенными в поворотных кольцевых каналах 8 и имеющими кинематическую связь с трансмиссионными валами линейных генераторов газа 5 (см. рис. 1). Управление платформой по тангажу осуществляется за счет частичного перекрытия диффузора ЭУТ одновременным движением двух передних или двух задних заслонок, а по крену — двух боковых (правыми или левыми) 14 (см. рис. 2). Грубое управление по высоте может осуществляться изменением режима линейных генераторов газа, а тонкое — одновременным синхронизированным движением заслонок.

Специфика применения такого ЛА требует некоторых конструктивных особенностей, не имею-

щих места в авиации. Это наличие амортизирующего бампера 4 (см. рис. 2) перед пилотской кабиной и стыковочный узел П-образной формы 2 (на рис. 2 показан в предстыковочном развернутом положении), предназначенный для фиксации ЛА в горизонтальной плоскости за счет захвата подоконника.

Применение подобной платформы в условиях мегаполиса также имеет некоторые особенности. После взлета из пожарного депо спасательное средство занимает высоту, безопасную для подхода к аварийному объекту, и сближается с ним. Последовательным изменением мощности генераторов газа и заслонок управления 14 спасательное средство занимает эшелон, соответствующий положению оконного проема, через который намечена эвакуация. За счет изменения тяги тянувших винтов изменяемого шага осуществляется подход и последующее торможение спасательного средства. Окончательное торможение осуществляется бампером 4 и стыковочным узлом 2, захваты которого после совмещения подоконника с центром узла переводятся из горизонтального в вертикальное положение, осуществляя таким образом фиксацию спасательного средства в горизонтальной плоскости. Открывается крышка ограждения 1, и ленточный транспортер (на рис. 2 не показан) в режиме выгрузки подает в аварийный объект пожарный расчет, который его обследует и обеспечивает загрузку пострадавших. При этом транспортер переключается в режим загрузки. Наличие ленточного транспортера, установленного в тоннельном ограждении, позволяет экипажу жестко контролировать процесс загрузки платформы. После завершения загрузки все действия повторяются в обратном порядке, а спасательное средство приземляется на достаточно безопасном от объекта расстоянии. Пассажирский салон может быть выполнен в виде съемного модуля, а сменный салон — находиться на заранее подготовленной площадке, proximity of high-rise buildings simultaneously.

Реализация предложенной концепции летающей платформы требует определенного научно-технического задела, в первую очередь по СУ. Основной поставленной задачей-минимум должна быть одинаковая с вертолетом топливная эффективность, которая может быть обеспечена только значительным повышением степени сжатия топливной смеси. Факторами, способствующими такому повышению, являются простая форма поверхности камер сгорания и отсутствие ударных нагрузок в цилиндропоршневой группе (нет перекладки поршней в "мертвой" точке). Это позволяет выполнить ее из карбидов тугоплавких металлов и заменить поршневые кольца металлографитными уплотнениями, обеспечивающими "твердотельную" смазку в условиях более высоких температур.

Более высокая температура камер сгорания позволяет усилить кинетику процессов окисления топлива и, соответственно, повысить частоту тактов двигателя и устраниТЬ негативные пристеночные эффекты. Следует отметить, что именно недостаточная материаловедческая база была одной из основных причин неудачной попытки создания двухтактного двигателя со сверхвысокими степенями сжатия, предпринятой в 1948 г. конструктором артиллерийских систем Б. Шпитальным.

На рис. 3 представлена сравнительная схема противопожарной спасательной операции с использованием вертолета [8] и предлагаемой — с использованием ЛА типа летающей платформы. В обоих случаях предполагается использование импульсных безоткатных многоствольных установок, которые могут обеспечить практически неограниченную интенсивность подачи огнетушащего и защитного состава за счет выстрелов специальными зарядами с тепловыми взрывателями, содержащими микрозаряды пороха для дистанционного распыления. Поскольку высотные здания являются удобным объектом для террористических атак, подобные системы могут быть использованы для операций по освобождению заложников без нанесения им вреда, травм или необратимой потери здоровья. Известная схема не предполагает эвакуацию пострадавших наиболее коротким путем через оконные проемы, а выстрелы огнетушащими боеприпасами с большого расстояния менее точны, что может иметь нежелательные последствия.

Специфическими особенностями аэромобильного противопожарного спасательного средства являются пониженная чувствительность к турбулентностям атмосферы вследствие отсутствия специ-

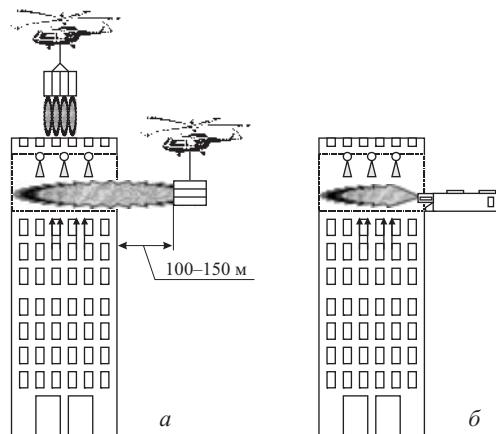


Рис. 3. Схема пожаротушения высотного объекта с применением вертолета (а) и аэромобильного противопожарного средства (б)

альных аэродинамических поверхностей для создания подъемной силы, механизация процессов загрузки и разгрузки и возможность их контроля экипажем, возможность непосредственной эвакуации потерпевших в медицинские учреждения, универсальность, обусловленная возможностью замены пассажирского модуля на противопожарное оборудование.

Весьма аргументом в пользу создания такого транспортного средства является существенное снижение стоимости высотного строительства за счет сокращения, упрощения или отказа от систем стационарного пожаротушения, которые сложны, дороги, требуют постоянного технического обслуживания и имеют высокую вероятность выхода из строя даже в случае незначительных повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Bertin, J.** Coributon au development des tramp et ejecteurs / J. Bertin, M. Nobour // Technique et Science aeronautiques. — 1959. — Vol. VI, № 3. — P. 18–25.
2. **Bertin, J.** Les trompes appliques au vol vertical vers aile trompe / J. Bertin // Technique of science. — 1960. — Vol. III–VI, № 2. — P. 31–36.
3. **Бехли, Ю. Г.** Предварительная оценка характеристик вертолета с турбопоршневым двигателем / Ю. Г. Бехли, В. А. Каргопольцев, А. Б. Корнилов [и др.] // Техника воздушного флота. — 1991. — № 1.
4. **Подзирей, Ю. С.** Силовая установка для транспортного самолета вертикального взлета и посадки / Ю. С. Подзирей // Полет. — 2003. — № 10.
5. **Петров, П. П.** Свободнопоршневые двигатели — проблемы и перспективы / П. П. Петров // Двигателестроение. — 1988. — № 4.
6. **Еников, В. Г.** Авиационные эжекторные усилители тяги / В. Г. Еников, Г. С. Клячкин, В. С. Коротеев [и др.] — М.: Машиностроение, 1980. — 133 с.
7. **Подзирей, Ю. С.** О возможности замены несущего винта линейным генератором газа / Ю. С. Подзирей // Авиация общего назначения. — 2002. — № 10.
8. Захматов, В. Д. Новый метод и техника тушения пожаров в небоскребах / В. Д. Захматов, Н. Г. Шкарабура, Н. В. Щербак // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 1. — С. 67–74.

Поступила в редакцию 05.07.07.



Канд. техн. наук, преподаватель кафедры
«Организации и управления противо-
пожарными подразделениями» Тольятти-
тинского военного технического института
Н. Н. Старков



Слушатель факультета специальности
«Пожарная безопасность» Тольяттинского
военного технического института
М. В. Россиев

УДК 614.841

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ПОЖАРНОГО РОБОТА-РАЗВЕДЧИКА

Рассмотрена концепция создания пожарного робота-разведчика, предназначенного для разведки пожара в зонах повышенного риска для жизни человека, при авариях на предприятиях, авариях с выбросом химических, бактериологических и радиоактивных веществ и др. Проведена оценка возможности использования новых технических решений для создания действующего устройства.

Пожары относятся к тем явлениям, которые носят громадный ущерб обществу и представляют постоянную социальную опасность. Качество ликвидации пожаров и безопасность при борьбе с ними напрямую связаны с технической оснащенностью подразделений пожарной охраны средствами предупреждения, локализации и тушения пожаров и зависят от нее.

Несмотря на постоянно внедряемые мероприятия организационно-технического и конструктивного характера, направленные на повышение состояния пожарной безопасности объектов различного назначения, во всем мире, резкого снижения количества взрывов и пожаров не наблюдается.

Кроме того, увеличение объемов производства и усложнение промышленных технологий приводят к повышению вероятности возникновения сложных пожаров, для тушения которых не всегда подходят имеющиеся на вооружении виды и средства пожарной техники и оборудования.

Согласно официальным статистическим данным обстановка с пожарами в РФ оставалась и остается напряженной.

За 10 месяцев 2006 г. в Российской Федерации зарегистрировано 825 крупных пожаров с общим материальным ущербом 17,7 млрд руб. На пожарах погибло 63 человека из состава противопожарных подразделений.

Основные материальные потери наблюдаются при возникновении сложных пожаров, где работа противопожарных подразделений особо затруднена, где велика вероятность воздействия вторичных проявлений опасных факторов пожара. К таким пожарам, например, относятся пожары на складах боеприпасов, которые являются наиболее опасными, поскольку способны нанести большой материальный ущерб и привести к человеческим жертвам.

Для решения проблемы безопасности на пожарах такого рода возникает необходимость в создании специальных технических средств и оборудования для проведения разведки пожара и сбора полезной информации на безопасном для противопожарных подразделений расстоянии. Это могло бы способствовать защите личного состава, пожарной техники от воздействия на них опасных факторов пожара и (или) взрыва.

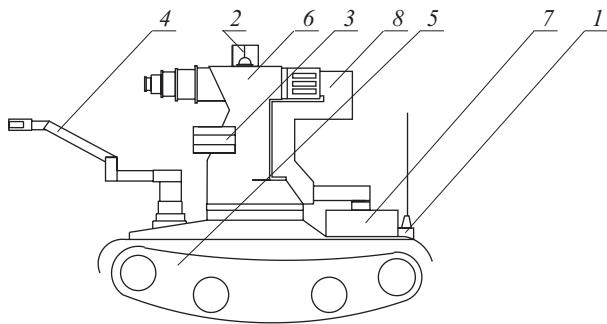
Важно принимать во внимание еще и то, что при разработке новых технических устройств необходимо создавать условия минимального привлечения личного состава противопожарных подразделений к выполнению опасных работ на пожаре. Всю опасную работу должна выполнять автоматизированная техника.

Коренные изменения, произошедшие в технологиях производства на современном этапе научно-технического прогресса, привели к появлению возможностей реализации замысла проведения разведки пожара и действиям по локализации опасных очагов с применением роботизированной техники.

Для решения поставленных проблем предлагается концепция создания пожарного робота-разведчика.

Пожарный робот-разведчик предназначен для разведки пожара в зонах повышенного риска для жизни человека; при авариях на предприятиях, с выбросом химических, бактериологических и радиоактивных веществ; при высокой температуре и большой концентрации в воздухе продуктов горения. Общая принципиальная схема робота приведена на рисунке.

Основные компоненты робота: устройство управления (бортовой компьютер); корпус с поворотным устройством, устройством наблюдения — видеокамерой 2, тремя парами колес, вращающих-



Общая принципиальная схема пожарного робота разведчика: 1 — модуль беспроводной связи; 2 — видеокамера; 3 — приборы измерения доз; 4 — многофункциональная рука манипулятор; 5 — ходовая часть; 6 — пневматическая установка комбинированного тушения стволового типа; 7 — контейнеры с огнетушащими веществами; 8 — пневмотранспорт

ся под действием двух серводвигателей, управляемых командами бортового компьютера. Кроме того, робот поддерживает связь с внешними управляющими устройствами посредством модуля беспроводной связи 1, благодаря чему может выполнять работу на значительных расстояниях от пункта управления данным роботом.

На корпусе при необходимости могут устанавливаться приборы измерения доз 3 радиационного излучения, определения типа и степени концентрации химических и бактериологических отравляющих веществ.

Многофункциональная рука-манипулятор 4 выполняет все тонкие работы, требующие высокой точности, такие как открытие дверей хранилищ, электрощитов, освобождение дальнейшего маршрута движения от различных преград. Кроме того, при необходимости рука-манипулятор может дополнительно оснащаться приспособлением для снятия проб грунта и воды на факт заражения.

Ходовая часть на гусеничном ходу с применением независимой подвески на пружинных и гидравлических амортизаторах 5 придает роботу высокую проходимость и маневренность, увеличивает его устойчивость при движении по различным видам поверхностей.

Пневматическая установка стволового типа комбинированного тушения 6 способна ликвидировать небольшие очаги пожара, освобождать путь следования к назначенному району, обеспечивая безопасную работу всех систем робота.

Комбинированное тушение позволяет применять различные огнетушащие вещества (порошок, диоксид углерода и др.) в зависимости от конкретной ситуации. Благодаря этому возможно тушение практически всех классов пожаров.

Контейнеры с огнетушащими веществами 7 (порошок, диоксид углерода и др.) расположены в задней части робота, обеспечивая балансировку в равномерном распределении веса по всему шасси.

Движение огнетушащего вещества от контейнеров к пневматической установке стволового типа осуществляется по пневмотранспорту 8, защищенному огнеупорным кожухом.

Основным устройством управления роботом является бортовой компьютер, который обменивается информацией с аппаратом посредством луча инфракрасного света и передает ее другим устройствам по беспроводной сети. Бортовой компьютер служит, в том числе, и ретранслятором данных. Бортовой компьютер изолирован от робота. Имеется в виду, что он изолирован от него только оптически и обменивается информацией с помощью световых волн.

Благодаря такому конструктивному решению не нужно никаких соединительных проводов, а предусмотренное программное обеспечение работает на любом компьютере с выбранной операционной системой.

Технология передачи информации в ИК-диапазоне волн обладает следующими преимуществами:

- соединением напрямую с различными устройствами ввода/вывода и контролерами;
- встроенной защитой от электромагнитных помех: не требуется внешнее экранирование.
- универсальным стандартом соединения портативных вычислительных устройств;
- легкой реализацией без значительных усилий;
- низким энергопотреблением, что делает технологию экономически выгодной альтернативой другим устройствам связи;
- надежной, высокоскоростной связью;
- надежностью использования в любых условиях;
- отсутствием опутывающих проводов, что исключает возможность поломки бортового компьютера.

Робот, управляемый с бортового компьютера, может “видеть” посредством использования инфракрасного дальномера и беспроводной видеокамеры. Алгоритмы машинного зрения интерпретируют окружающую обстановку и отправляют обратный сигнал роботу. Возможность посыпать видеоданные по беспроводной сети с помощью платы оцифровки видеоизображений делает возможным виртуальное присутствие человека через “окно”-дисплей. Эта функция позволяет оператору выполнять манипуляции роботом находясь в безопасном месте.

Интересным фактом, касающимся ИК-дальномера, является то, что импульсный пучок инфракрасного света хорошо заметен для современных

систем обнаружения целей, используемых в современной военной технике, в частности в оборудовании современных военных баз. Это может быть как преимуществом, так и недостатком.

В качестве устройств для определения местонахождения рассматриваются модули пространственного позиционирования. Эти устройства дают возможность получения информации об их точном местоположении. Работа можно запрограммировать так, чтобы он самостоятельно передвигался с помощью дальнодействующего беспроводного видеопередатчика в любом месте объекта. Следя за ним, можно делать свои собственные вычисления по точному определению местоположения, используя метод триангуляции по дугам от трех радиопередатчиков-радиомаяков. А если применить навигационное устройство, то возможно получение информации о его местоположении без каких-либо вычислений.

Навигационное устройство обладает следующими возможностями:

- прокладки единого маршрута от начала движения и до его завершения;
- самого скорого автоматического пересчета всего маршрута.

С помощью GPS-модуля бортовой компьютер превращается в превосходную навигационную систему глобального позиционирования.

Таким образом, разработка и создание технических устройств, позволяющих максимально обезопасить человека на пожаре, является весьма актуальным и перспективным направлением.

Поступила в редакцию 06.09.07.

Издательство «Пожнаука» уже более 10-ти лет выпускает разнообразную справочную, нормативную и научно-техническую литературу по пожарной безопасности для специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности.

Журналы «Пожаровзрывобезопасность» и «Пожарная безопасность в строительстве»

С 1992 года издательство «Пожнаука» выпускает журнал «Пожаровзрывобезопасность». Периодичность журнала - 6 номеров в год. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования, современные средства и способы пожаротушения.

В рамках проекта «Пожарная безопасность в строительстве» выпускается приложение к журналу, посвященное современным огнестойким и огнезащитным материалам и конструкциям, новым разработкам и технологическим решениям, а также проблемам противопожарного нормирования.

E-mail: firescience@pisem.net
<http://www.firepress.ru>

109052, Москва, ул. Смирновская, дом 1А
Тел./факс: (495) 662-69-70, 662-69-71

Пожнаука

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ





Д-р техн. наук, профессор,
начальник кафедры
Академии ГПС МЧС РФ

С. С. Воевода



Канд. техн. наук, заместитель
начальника Санкт-Петербургского
Университета ГПС МЧС РФ

В. П. Крейтор



Адъюнкт Санкт-Петербургского
Университета ГПС МЧС РФ

В. В. Бузук

УДК 614.84.664

ТУШЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИМИ ПЕНАМИ

Представлены результаты лабораторных исследований свойств пленкообразующих пенообразователей и противопожарной пены, приготовленной на их основе.

По результатам проведенных опытов с экспериментальными составами на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) различной природы было определено влияние содержания компонентов пенообразователя на огнетушащие свойства пленкообразующих пен.

Предварительные исследования поверхностной активности индивидуальных ПАВ, выражавшиеся в определении поверхностного и межфазного натяжений и коэффициентов растекания раствора по горючему и горючего по раствору, позволили выявить область рабочих концентраций. Главным образом, эта область определялась содержанием вещества в растворе, соответствующим величине критической концентрации мицеллообразования (далее по тексту — ККМ). Поэтому при формировании пленкообразующих композиций концентрация входящих в них компонентов была несколько выше значения ККМ индивидуальных растворов. Это связано с тем, что при смешении двух веществ различной природы каждое из них может неоднозначно повлиять на поверхностную активность полученной системы. Кроме того, при содержании ПАВ в растворе меньше ККМ реальная возможность обратного растекания горючего по пены. Вероятность этого события связывают, прежде всего, с величиной коэффициента растекания горючего по раствору, рассчитываемого по формуле:

$$f_{\varepsilon/p} = \sigma_{p-pa} - (\sigma_{\text{зоп}} + \sigma_{M/\phi}), \quad (1)$$

где σ_{p-pa} — поверхностное натяжение раствора, мН/м;

$\sigma_{\text{зоп}}$ — поверхностное натяжение горючей жидкости, мН/м;

$\sigma_{M/\phi}$ — межфазное натяжение на границе “раствор — горючее”.

При значениях $f_{\varepsilon/p} > f_{p/\varepsilon}$ ($f_{p/\varepsilon}$ — коэффициент растекания раствора по горючему) термодинамически возможны смачивание и растекание углеводорода по пены. Эта область обозначена на рис. 1 буквой А. В зоне растекания горючего по

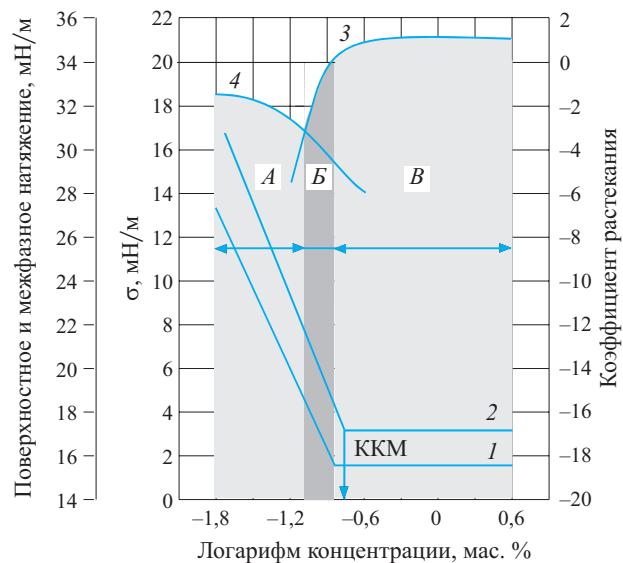


Рис. 1. Определение области применения пенообразователя по поверхностной активности рабочего раствора:
1 — межфазное натяжение; 2 — поверхностное натяжение;
3 — коэффициент растекания раствора по горючему;
4 — коэффициент растекания горючего по раствору

раствору пена будет разрушаться с очень высокой скоростью.

Точка, где пересекаются кривые 3 и 4, характеризующие соответственно коэффициенты растекания раствора по горючему и горючего по раствору, означает переход в область *Б*. Здесь уже возможно использование пенообразователя и пены для тушения пожаров нефтепродуктов, однако имеется большая вероятность, что пена будет загрязняться при всплытии на поверхность горящей жидкости. При увеличении концентрации пенообразователя пена будет все меньше и меньше загрязняться горючим. В этой области использовать пенообразователь можно для получения пены. Область *С* характеризуется положительными значениями коэффициента растекания, термодинамически возможно растекание пленки по поверхности углеводорода. Здесь эффективность применения пленкообразующих пенообразователей напрямую связана с изолирующими свойствами пен, полученных на их основе. Для них характерна модель строения с равновесной водной пленкой на поверхности нефтепродукта (рис. 2, *а*).

В случаях “*б*” и “*в*” (см. рис. 2) поверхность контакта пены с горючей жидкостью определена пенным каналами и пленками пузырей. При этом наблюдается интенсивное разрушение пены в результате смачивания ее горючей жидкостью и проникновения паров горючего в пенную структуру.

Таким образом, увеличение содержания углеводородного стабилизатора в смеси приводило к повышению поверхностного натяжения рабочего раствора и к сильному снижению натяжения на межфазной границе “раствор – углеводород”. В этом случае при контакте с горючей жидкостью во время прохождения пены через ее слой происходит взаимодействие молекул углеводородного ПАВ с нефтепродуктом ввиду их высокой солюбилизирующей способности при низких значениях межфазного натяжения. Применение таких пен для подслойного тушения пожаров горючих жидкостей не представляется возможным.

В результате сбалансирования композиции индивидуальных ПАВ достигаются снижение межфазного натяжения смесевого состава до допустимых значений по сравнению с исходными растворами веществ и получение положительных значений коэффициента растекания при концентрациях, близких к ККМ.

Измерение кратности и устойчивости пен экспериментальных составов показывает, что повышенное содержание фторированного компонента заметно снижает кратность и устойчивость пены к синерезису. Потеря пеной рабочего раствора способствует быстрому разрушению пенного слоя на поверхности горящего нефтепродукта, что приводит к повышению времени тушения и затрат пенообразователя.

Область применения пен экспериментальных составов ограничивалась кратностью 6–8. Такие пены относятся к низкократным и потому пригодны для подслойной подачи в резервуар с горючей жидкостью.

Определение огнетушащей эффективности пленкообразующих пен проводилось на модельной установке, описанной в НПБ 203–98 “Пенообразователи для подслойного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования. Методы испытаний”. В результате опытов отмечалось, что в экспериментальных составах F + C с увеличением концентрации фторированного компонента от 0,2 до 0,66 мас. % в растворе снижалась критическая интенсивность подачи пены с 0,01 до 0,005 кг/(м²·с) и минимальный удельный расход с 1,6 до 1,0 кг/м². Заметно возрастала удельная скорость тушения — от 0,012 до 0,044 м²/(кг·с) (рис. 3).

Анализ кривых тушения, удельного расхода и удельной скорости тушения с применением композиции F + C (рис. 4) представлен зависимостью параметров огнетушащей эффективности от содержания углеводородного компонента. При использовании концентрации углеводородного компонента С в растворе в диапазоне от 0,05 до 0,15 мас. % наблюдалось повышение критической интенсивности

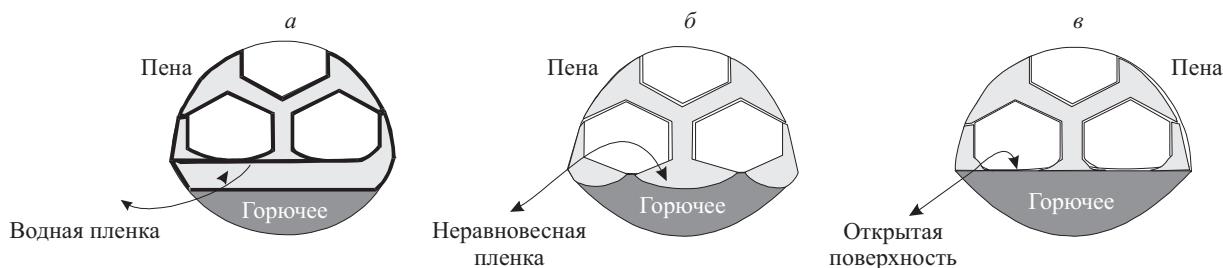


Рис. 2. Модель водной пленки на поверхности углеводородов

подачи пены от 0,007 до 0,015 кг/(м²·с) и ее удельного расхода, а также снижение скорости тушения с 0,03 до 0,015 м²/(кг·с). Дальнейшее увеличение концентрации от 0,25 мас. % привело к повышению первых двух параметров и скорости тушения. Это объясняется определенным пропорциональным содержанием ПАВ различной природы в пленкообразующем комплексе. К заметному улучшению огнетушащих свойств пены повышение концентрации обоих компонентов не привело. Поэтому рацио-

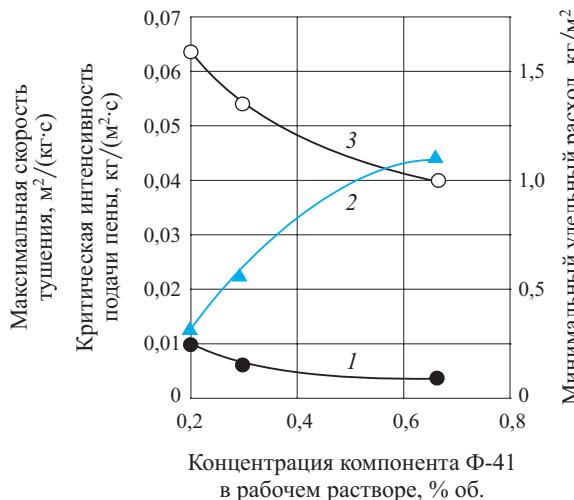


Рис. 3. Зависимость критической интенсивности подачи пены (1), максимальной скорости тушения (2) и минимального удельного расхода пены (3) от содержания фторированного компонента в составе F + C

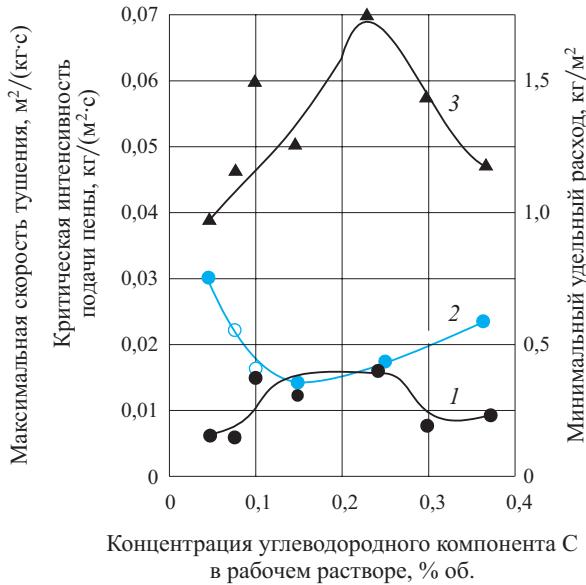


Рис. 4. Зависимость критической интенсивности подачи пены (1), максимальной скорости тушения (2) и минимального удельного расхода пены (3) от содержания углеводородного компонента в составе F + C

нально не превышать концентрацию 0,15% компонента С в растворе пенообразователя.

При изменении содержания в смеси фторированного компонента F от 0,12 до 0,4 мас. % (рис. 5) минимальное значение критической интенсивно-

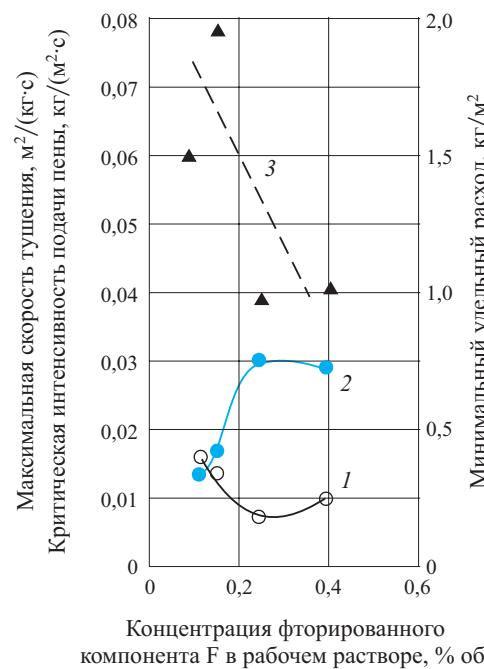


Рис. 5. Зависимость критической интенсивности подачи пены (1), максимальной скорости тушения (2) и минимального удельного расхода пены (3) от содержания фторированного компонента в составе F + C

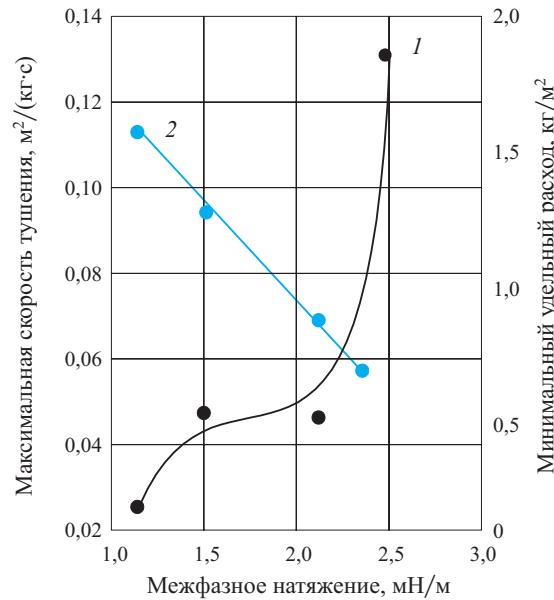


Рис. 6. Зависимость максимальной скорости тушения (1) и минимального удельного расхода (2) от межфазного натяжения на границе "раствор – горючая жидкость"

сти подачи пены и высокие показатели удельного расхода и скорости тушения соответствуют концентрации F 0,24 мас. %. Дополнительное добавление фторированного компонента в состав не приводит к повышению огнетушащей способности.

На рис. 6. представлен анализ влияния межфазного натяжения на огнетушащую эффективность пен. С увеличением межфазного натяжения от 1,15 до 2,5 мН/м прослеживаются тенденция к снижению затрат пены от 1,43 до 0,7 кг/м² и характерное увеличение скорости тушения нефтепродукта от значения 0,025 до 0,13 м²/(кг·с). Обладая низким межфазным натяжением, пена быстро разрушается на поверхности горючего, при этом часть раствора оседает на дно резервуара, а другая подпитывает

пленку, которая движется впереди пенным слоем. При этом расход пенообразователя повышается.

В результате исследований выбрана оптимальная композиция с минимальным содержанием фторированного и углеводородного ПАВ: 0,24% F + + 0,05% C, имеющая высокие изолирующие и огнетушащие характеристики. В сравнении с промышленно выпускаемыми образцами данный состав показал свою конкурентоспособность.

Таким образом, определены области применения пленкообразующих пенообразователей, характеризующиеся коэффициентом растекания раствора по углеводороду и обратным эффектом растекания горючей жидкости по пены.

Поступила в редакцию 13.07.07.



Интерактивное учебное пособие “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ”

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

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

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

Данное интерактивное учебное пособие рекомендуется для проведения дистанционного обучения.

Курс рассчитан на самостоятельное изучение и консультационной помощью не поддерживается.

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

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

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

По вопросам приобретения компакт-диска заявку присыпать по адресу:

109052, Москва, ул. Смирновская, дом 1 А

Тел./факс: (495) 662-69-70, 662-69-71

E-mail: firescience@pisem.net



Канд. техн. наук, заместитель
директора Института инженерной
безопасности МГСУ
Д. А. Корольченко

УДК 614.84

СОВРЕМЕННЫЕ БИОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Представлены различные методы очистки почвы, грунта и воды от органических углеводородных загрязнений и отходов, основным из которых на сегодняшний день является метод биоремедиации. Изложена суть данного метода и путем сравнительного анализа выявлены его преимущества. Представлен также один из наиболее эффективных препаратов-биодеструкторов "Oil-Eaters"®. Описан принцип его действия, основу которого составляет процесс биоремедиации. Даны рекомендации по дозированию и применению препарата, а также выделены основные области его применения для муниципального, промышленного и коммерческого секторов.

Своевременная, эффективная и не требующая больших материальных вложений очистка почвы и воды, а также утилизация органических отходов требуют разработки новых высокоэкологичных технологий. В связи с этим наиболее широкое распространение сегодня получила технология биоремедиации.

Биоремедиация (*bio* — жизнь, *remedio* — лечение) основана на внедрении в загрязненную экосистему активных микроорганизмов-деструкторов. Для биоремедиации почвы и воды используются биологические препараты, основу которых составляют специально подобранные микроорганизмы (бактерии), ферменты и биосурфактанты (поверхностно-активные вещества), способные ускорять процесс естественного разложения органического загрязнения.

Бактерии являются живыми организмами, которые потребляют загрязняющее вещество в качестве источника энергии жизнедеятельности и перерабатывают его в безопасные для окружающей среды продукты собственного метаболизма — углекислый газ, воду и минеральные соли. А ферменты и биосурфактанты служат катализатором биологического процесса: они быстро расщепляют органические молекулы, существенно облегчая тем самым усвоение бактериями загрязняющего вещества.

В очищаемую среду или утилизируемые отходы вносятся высокие концентрации ранее выделенных из почвы, селекционированных и размноженных штаммов бактерий в форме готового к применению препарата. Результатом их деятельности станет полная нейтрализация неблагоприятного подавляющего воздействия загрязнителей на естественные

процессы биологического самоочищения почвы и воды.

Препарат-биодеструктор "Oil-Eaters"® Emergency Liquid Spill Control (далее "Oil-Eaters") производства компании Fischer Engineering Holding B. V. не только способствует интенсивному разрушению, деградации и поглощению загрязняющих веществ углеводородокисляющими бактериями, но и препятствует возгоранию нефти и нефтепродуктов в случае аварийных проливов. Уникальное сочетание селективно адаптированных к различным условиям жизнедеятельности штаммов бактерий с поверхностно-активными веществами и ферментами делает этот препарат универсальным в применении ко многим загрязняющим веществам органического происхождения, таким как:

- нефтепродукты, например бензин, дизельное топливо, различные виды авиационного топлива и моторные масла;
- гликоли (компоненты антифриза);
- триметилбутиловый эфир;
- полиароматические углеводороды, метanol, топливо на основе метилового спирта;
- толуол и ацетон;
- отходы полиуретанов;
- конденсат нефтепровода;
- органические отходы, такие как жиры и масла;
- органические скопления в дренажных системах предприятий общественного питания (маслянистые осадки, целлюлозные отходы);
- AFFF (пленкообразующие пенные концентраты на водной основе) и т.д.

В процессе обработки углеводородных или органических загрязнений препаратом "Oil-Eaters"

сначала действуют поверхностно-активные вещества. Они снижают межфазное поверхностное напряжение на границе углеводород — вода и разбивают слой нефтепродукта на мельчайшие капельки, а загрязняющие вещества разрушают на простые молекулы, что способствует более эффективному поглощению загрязнения бактериями. Затем ферменты (их называют также биокатализаторами) интенсифицируют процесс репродукции и роста популяции бактерий. Бактерии, в свою очередь, полностью усваивают загрязняющие вещества и перерабатывают их в экологически безвредные, нетоксичные продукты собственного метаболизма — воду, углекислоту, биомассу микробов и минеральный субстрат.

В основу препарата “Oil-Eaters” входит ассоциация нескольких штаммов бактерий рода *Bacillus* — непатогенных, не подверженных мутациям микроорганизмов. Обычно препарат поставляется в концентрированном виде, готовом для немедленного смешивания с водой в необходимых пропорциях и дальнейшего применения. После ликвидации загрязнения препарат полностью ассимилируется по мере активизации естественной аборигенной микрофлоры. Срок хранения препарата составляет 10 лет.

Выбору бактерий рода *Bacillus* как основы препарата предшествовало длительное изучение их особенности как деструкторов биологически резистентных загрязнителей. Наряду с другими углеводородокисляющими микроорганизмами, существующими в природе, они имеют наиболее широкое распространение.

В период с 1990 по 2000 гг. ученые компании Fischer Engineering Holding B. V. селекционировали из образцов загрязненной почвы штаммы бактерий, наиболее агрессивно и эффективно поглощающих загрязнения, которые и вошли в состав “Oil-Eaters”.

В отличие от препаратов, созданных на основе чистой или смешанной микробной культуры углеводородокисляющих микроорганизмов, накипительная почвенная микробная культура препарата “Oil-Eaters” представляет собой сообщество разнообразных, взаимно дополняющих друг друга почвенных микроорганизмов, адаптированных к конкретному загрязнению и физико-химическим условиям почвы и воды.

Bacillus spores, входящие в состав препарата, являются факультативными бактериями. Они обладают способностью разрушать и поглощать загрязнения как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Следует также отметить их уникальную способность возвращаться в спорообразное состояние, как бы “впадать в спячку”, при отсутствии загрязняю-

щего вещества или воды. Как только среда становится влажной (выпадение дождя или повторное увлажнение), бактерии вновь оживают и готовы к деятельности. Что же касается препаратов с содержанием вегетативных бактерий, то сразу после исчезновения влаги цикл жизни этих микроорганизмов прерывается. Преимуществом препарата является также способность *Bacillus spores* нормально функционировать при колебаниях кислотно-щелочного баланса от 4,5 до 11,5, тогда как вегетативные бактерии могут выжить лишь при колебаниях данного показателя от 6,0 до 9,0.

Препарат “Oil-Eaters”, в отличие от порошковых аналогов, достаточно прост в применении и может быть использован в качестве средства быстрого реагирования при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов на почве и воде. Порошковые биопрепараты перед использованием нужно разводить водой и оставлять на срок до 24 ч, а жидкий концентрированный состав “Oil-Eaters” всегда готов к незамедлительному применению после смешивания с водой.

Необходимо обратить внимание на следующие рекомендации по дозированию и применению препарата.

В случае пролива беспримесных или почти беспримесных жидкостей следует определить масштаб загрязнения по объему пролива. Необходимое количество препарата будет равно 10% от объема загрязняющего вещества. Руководствуясь параметрами загрязнения (тип загрязнения, время пролива, степень вязкости и летучести загрязнителя и т.д.), нужно развести препарат в рекомендуемом процентном соотношении. Обычно для тяжелых углеводородов, таких как моторные масла и рабочие жидкости, используется 3%-ный раствор препарата (3 части концентрата на 97 частей воды). Чтобы ускорить процесс разложения загрязнения, раствор следует наносить под давлением для более тщательного смешивания препарата с поллютантом.

В случае загрязнения почвы точный расчет необходимого количества биодеструктора будет зависеть от типа загрязнения, глубины его проникновения, влагоемкости и пористости почвы, плотности поверхности слоя и температуры окружающей среды. Место загрязнения должно быть тщательно орошено приготовленным составом. Для достижения максимальной интенсивности биоремедиации нужно постоянно поддерживать уровень увлажненности почвы. При длительном восстановлении сильно загрязненных почв и грунтов (сроком более 30 дней) может потребоваться применение специального биокатализатора.

В мировой практике применяются различные методы очищения и восстановления почвы, загрязнен-

ненной нефтью. По технологии проведения очистки их можно разделить на две группы.

К первой группе относятся методы “*ex situ*” (лат. — “вне места”), предусматривающие выемку загрязненного грунта и последующие мероприятия по ликвидации загрязнения.

Помещение загрязненной почвы и грунта в биореактор. Предварительно из почвы удаляются крупные камни, а грунт подвергается перемешиванию, что делает их консистенцию более однородной. Затем добавляют воду до образования глинистой суспензии и уже в суспензионную вносят состав с микроорганизмами, для которых в реакторе создаются оптимальные условия. После завершения процесса очистки почва и грунт высушиваются и возвращаются в окружающую среду.

Выемка загрязненной почвы или грунта и вывоз на специально подготовленные площадки — полевые грядки. Этот метод предусматривает распределение вынутого грунта на специально подготовленной площади, проведение аэрации посредством многократного рыхления и принудительной вентиляции почвы, орошение и введение питательных веществ и микроорганизмов.

Вывоз на свалку. Загрязненный нефтью и нефтепродуктами грунт и твердые материалы добавляют к отходам на городских свалках в количестве 1–2% от общего количества отходов. Такое соотношение нефтепродуктов и отходов является вполне экологически обоснованным и безопасным.

Санирование в кагатах, которое предусматривает выемку загрязненной почвы и укладку ее в форме кагата высотой 0,4–2,0 м. После этого кагат орошается суспензией биомассы микроорганизмов и питательных веществ. Для предотвращения эрозии проводится эвентуальное озеленение кагата.

Обработка загрязненного нефтью грунта в стационарных условиях на двух-трех блочных линиях грубой и тонкой очистки, позволяющих максимально извлечь и довести до оптимального уровня содержание нефти в грунте. Грунт с концентрацией нефтепродуктов не более 15 г/кг возвращается на участок, откуда он был изъят. Затем следует период рекультивации территории (технология АО “ГенЭКО”, Россия; LRS-технология, США и др.).

Ко второй группе относятся методы “*in situ*” (лат. — “на месте”), включающие в себя проведение мероприятий по очистке почвы непосредственно на участке загрязнения.

Биоаугментация — обработка загрязненной почвы нефтеокисляющими микроорганизмами (в том числе генетически модифицированными) в сочетании с введением комплекса минеральных удобрений.

Биостимуляция — обработка загрязнения, в процессе которой проводится аэрация и подкармливание почвы для обеспечения бактерий аборигенной микрофлоры питательными веществами.

Метод биоремедиации в данном случае совмещает в себе преимущества обеих групп методов очистки. Биоремедиация может проводиться как “*ex situ*”, так и “*in situ*”.

В первом варианте почва с загрязняющим веществом помещается в специально оборудованную установку (метод очищения в биореакторе, ланд-фарминг и т.д.) для дальнейшей очистки. При использовании препарата “*Oil-Eaters*” предварительного разжижения почвы не требуется, поэтому очистка займет гораздо меньше времени.

Во втором варианте процесс очистки производится на месте, откуда невозможно осуществить выемку грунта (под автомагистралями, зданиями, взлетно-посадочными полосами и т.д.). Преимуществом биоремедиации в данном случае является одновременная очистка почвы и грунтовых вод. Кроме того, эффективность биоремедиации не зависит от условий, необходимых для других методов “*in situ*”.

Следует также отметить, что при сравнительно низкой себестоимости данный метод очистки избавляет от долгосрочных обязательств по ликвидации загрязнения, как при захоронении органических отходов, поскольку загрязняющее вещество обезвреживается и полностью поглощается бактериями.

Метод биоремедиации является одинаково эффективным как на уровне, включающем почву, грунт и поверхностные воды, так и на более глубоком уровне, включающем подпочву и грунтовые воды. К преимуществам данного метода очистки относится возможность целенаправленного применения его в нужном месте и в нужное время, высокая скорость усвоения и переработки загрязнителей на безвредные для окружающей среды продукты жизнедеятельности бактерий, экологическая и гигиеническая безопасность.

Одной из основных сфер применения препарата-биодеструктора “*Oil-Eaters*” является очистка почвы и грунта от нефти и нефтепродуктов, но не менее эффективно его применение и в других областях, таких как:

- очистка резервуаров нефти, утилизация и обезвреживание гидрообразных нефтяных отходов;
- устранение случайных разливов на перерабатывающих, технологических установках, заправочных станциях; дорогах и парковках; вокруг территорий СТО, в зонах хранения масел и смазочных материалов и т.д.;

- очистка водоемов от загрязнения нефтепродуктами. Уничтожение тонких нефтяных и бензиновых пленок на поверхности воды;
- биологическая очистка поверхностных вод и донных отложений водоемов от интенсивного загрязнения (органический мусор, плохо очищенные сточные воды, нанос, удобрения, фекалии рыб и водоплавающих птиц и т.д.);
- биологическая очистка сточных вод предприятий пищевой и легкой промышленности: разложение фенольных компонентов, цианидов и тиоцианидов, жиров, жирных кислот и масел;
- нейтрализация тяжелых неприятных запахов, источником которых являются летучие органические соединения меркаптанов, фенолов, сероводорода и амиака, образующихся в процессе переработки сырья, очистки сточных вод, переработки или хранения отходов и т.д.;
- очистка канализационных коммуникаций предприятий общественного питания (канализационные трубы, сточные колодцы, отстойники) от органических отложений и предотвращение засоров. Очистка жироуловителей путем уменьшения в них содержания жиров, масел, белков, моющих средств и других органических отходов.

Автор выражает благодарность К. М. Реве за помощь в подготовке статьи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sonenshein. *Bacillus subtilis and Other Gram-Positive Bacteria*. — AMS. Washington, D.C., 1993.
2. Bioremediation may be key for soil and ground water pollution cleanup, Cornell University Science News, October 1993.

Поступила в редакцию 20.09.07.



Издательство ООО “Издательство “Пожнаука”
109052, г. Москва, ул. Смирновская, д. 1А
(495) 662-69-70, 662-69-71
e-mail: firescience@pisem.net
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 10 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

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

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 года. Периодичность — 6 номеров в год. С октября 2001 года журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнальное приложение “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 года. Периодичность — 6 номеров в год. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

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

1. Реклама на обложке (полноцветная): 2-я полоса — 28000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно
3-я полоса — 25000 руб. + 1 двухцветная полоса бесплатно
4-я полоса — 35000 руб. + 2 двухцветные полосы бесплатно
2. Рекламная статья: 1/1 двухцветной полосы — 12000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные вклейки:

Размер модуля	Стоймость модуля, руб.	
	полноцветного	двухцветного
1/1 полосы (215 × 300 мм)	17000	12000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	11000	9000

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

Тираж: 10000 экз.

Технические требования к макету

Растровые оригинал-макеты представляются в форматах TIF, PSD (с необъединенными слоями) с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi. Размер элементов на вылет — 5 мм. Цветовая модель — CMYK.

Векторные оригинал-макеты передаются в CDR, AI, EPS. Шрифты должны быть в кривых. Цветовая модель — CMYK.

Размер оригинал-макета должен точно соответствовать размеру рекламного модуля. К каждому оригинал-макету прилагается распечатка.

Возможно изготовление оригинал-макета рекламного модуля исполнителем.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок (200 экз.) на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Наименование	Цена руб./экз.
ДЛЯ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!	
Научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность”	
Практическое приложение “Пожарная безопасность в строительстве”	
Специализированное издание о последних достижениях в сфере предупреждения и тушения пожаров с приложением по проблемам пожарной безопасности в строительстве.	
Периодичность выхода комплекта — 6 раз в год.	
1 комплект (журнал + приложение) I-го полугодия 2008 г.	420
Полугодовая подписка на комплект 2008 г.	1260
Годовая подписка на комплект 2008 г.	2520
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (архив на CD-диске), номера за 2002–2004 гг.	204
Стоимость электронной версии одного журнала	
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” с приложением “Пожарная безопасность в строительстве” (архив на CD-диске), номера 2005 г.	324
Стоимость электронной версии одного комплекта	
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” с приложением “Пожарная безопасность в строительстве” (архив на CD-диске), номера 2006 г.	349
Стоимость электронной версии одного комплекта	
УЧЕБНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ	
А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения:	2200
Справочник в 2-х т. — М.: Пожнauка, 2004. — 1-й том — 713 с.; 2-й том — 774 с.	
Н. Н. Брушлинский, А. Я. Корольченко. Моделирование пожаров и взрывов. — М.: Пожнauка, 2000. — 492 с.	360
Л. П. Пилигин. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М.: Пожнauка, 2000. — 224 с.	240
В. М. Ройтман. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М.: Пожнauка, 2001. — 382 с.	300
А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин. Пожарная опасность строительных материалов: Учебное пособие. — М.: Пожнauка, 2006. — 232 с.	200
В. И. Горшков. Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Пожнauка, 2007. — 268 с.	350

Наименование	Цена руб./экз.
В. Н. Баранин. Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — М.: Пожнаука, 2004. — 332 с.	120
А. Ф. Шароварников, В. Л. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шароварников. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 438 с.	350
А. Ф. Шароварников, С. А. Шароварников. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 336 с.	250
М. М. Любимов, С. В. Собурь. Пожарная и охранно-пожарная сигнализация: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 292 с.; 2-й т. — 308 с.	420
В. А. Грачёв, Д. В. Поповский. Газодымозащитная служба: Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 379 с	380
В. А. Грачёв, С. В. Собурь. Средства и способы защиты органов дыхания: Справочник. — М.: Пожнаука, 2007. — 224 с.	330
В. В. Теребнёв. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: Справочник. — М.: Пожнаука, 2004.	150
В. С. Родин, О. Н. Найденков, С. В. Собурь. Справочник инспектора пожарного надзора: Справочник в 2-х т. — М.: ПожКнига, 2005. — 1-й т. — 400 с.; 2-й т. — 368 с.	350
СЕРИЯ "СОВРЕМЕННАЯ ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ"	
А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 320 с.	300
А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. Средства огнезащиты: Справочник. — М.: Пожнаука, 2006. — 258 с.	200
СЕРИЯ "ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ"	
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. И. Думилин. Жилые и общественные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 352 с.	320
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. В. Подгрушный. Промышленные здания и сооружения: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 370 с.	320
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный. Здания повышенной этажности: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2006. — 240 с.	300
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный. Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 326 с.	НОВИНКА 350

Наименование	Цена руб./экз.
В. Б. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, О. Ю. Сабинин. Леса, торфяники, лесосклады: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 358 с.	НОВИНКА 400
В. Б. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв, А. И. Думилин. Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: Учебное пособие. — М.: Пожнаука, 2007. — 382 с.	НОВИНКА 320
Электронная версия самообучающего учебного пособия по курсу “Пожарная безопасность объекта”. Пособие включает в себя сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов	1100
Электронная версия учебного пособия по курсу “Пожарная безопасность объекта”, авторы — Корольченко А.Я. и др. Пособие включает в себя сборник нормативных актов по организации и обеспечению пожарной безопасности объектов	450
Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия	1000
СЕРИЯ “БИБЛИОТЕКА НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАБОТНИКА”	
С. В. Собурь. Пожарная безопасность: Справочник. — 2-е изд. (с изм.). — М.: ПожКнига, 2005. — 292 с.	120
С. В. Собурь. Пожарная безопасность промпредприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 216 с.	150
С. В. Собурь. Пожарная безопасность складов: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 240 с.	150
С. В. Собурь. Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: Справочник. — 2-е изд. с доп. и измен. — М.: ПожКнига, 2004. — 224 с.	150
С. В. Собурь. Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 432 с.	180
С. В. Собурь. Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 88 с.	45
СЕРИЯ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ”	
С. В. Собурь. Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 496 с.	250
С. В. Собурь. Краткий курс пожарно-технического минимума: Справочник. — 2-е изд. с доп. и измен. — М.: ПожКнига, 2004. — 304 с.	120
С. В. Собурь. Огнетушители: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 96 с.	60
С. В. Собурь. Установки пожаротушения автоматические: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 408 с.	200
С. В. Собурь. Установки пожарной сигнализации: Справочник. — 4-е изд. (с измен.). — М.: ПожКнига, 2004. — 296 с.	150
С. В. Собурь. Пожарная безопасность электроустановок: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 280 с.	150
С. В. Собурь. Огнезащита материалов и конструкций: Справочник. — М.: ПожКнига, 2004. — 256 с.	150
С. В. Собурь. Предпринимателю о пожарной безопасности предприятия: Справочник. — 2-е изд. с доп. и измен. — М.: ПожКнига, 2004. — 328 с.	120

Наименование	Цена руб./экз.
С. В. Собурь. Заполнение проемов в противопожарных преградах: Справочник. — М.: ПожКнига, 2006. — 187 с.	90
С. В. Собурь. Доступно о пожарной безопасности: Брошюра. — М.: ПожКнига, 2004. — 32 с.	35
СЕРИЯ "ТАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ"	
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, В. А. Грачёв. Справочник спасателя-пожарного. — М., 2006. — 528 с.	НОВИНКА 380
В. В. Теребнёв, Н. С. Артемьев, К. В. Шадрин. Основы пожарного дела. — М., 2006. — 328 с., илл.	НОВИНКА 380
В. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв. Управление силами и средствами на пожаре: Учебное пособие / Под ред. Е. А. Мешалкина. — М., 2006. — 264 с.	330
В. В. Теребнёв, В. А. Грачёв, А. В. Теребнёв. Организация службы начальника караула пожарной части: Учебное пособие. — М., 2007. — 216 с.	330
В. В. Теребнёв, В. А. Грачёв, А. В. Подрушный, А. В. Теребнёв. Пожарно-строевая подготовка: Учебное пособие. — М., 2004 — 344 с., илл.	
СЕРИЯ "ОХРАНА ТРУДА"	
О. С. Ефремова. Охрана труда в строительстве: Сборник. Ч. 1. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 400 с.	140
О. С. Ефремова. Охрана труда в строительстве: Сборник. Ч. 2. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 468 с.	140
О. С. Ефремова. Охрана труда в строительстве: Сборник. Ч. 3. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 300 с.	140
О. С. Ефремова. Сборник инструкций по охране труда. Ч. 1. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 336 с.	100
О. С. Ефремова. Сборник инструкций по охране труда. Ч. 2. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 320 с.	100
О. С. Ефремова. Сборник инструкций по охране труда. Ч. 3. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 440 с.	100
О. С. Ефремова. Изменения и дополнения в законодательстве об охране труда. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 176 с.	90
О. С. Ефремова. Обучение и инструктирование работников по охране труда. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 160 с.	55
О. С. Ефремова. Охрана труда в организации в схемах и таблицах. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 108 с.	155
О. С. Ефремова. Охрана труда от "А" до "Я". — 4-е изд. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 516 с.	160
В. П. Ковалев. Система работы с приказами по предприятию специалиста по охране труда и технике безопасности. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 60 с.	60
О. С. Ефремова. Документация по охране труда в организации. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 1366 с.	55
О. С. Ефремова. Журналы по охране труда (комплект из 8 шт.). — 2007.	170
О. С. Ефремова. Аттестация рабочих мест по условиям труда: формы и правила ведения. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 560 с.	126
О. С. Ефремова. Служба охраны труда в организации. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 96 с.	47
О. С. Ефремова. Журналы по охране труда: формы и правила ведения. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 40 с.	47

Наименование	Цена руб./экз.
НОВЫЕ КНИГИ	
A. Я. Корольченко. Процессы горения и взрыва: Учебник. — М.: Пожнаука, 2007. — 266 с.	400
Изложены современные представления о закономерностях процессов возникновения горения, распространения пламени и прекращения горения веществ, находящихся в газообразном, жидком и твердом состояниях. В доступной форме представлены теории самовоспламенения и вынужденного зажигания. Описаны особенности протекания химических процессов в предпламенной зоне, зоне пламени и зоне догорания. Подробно рассмотрен механизм химических превращений при горении водорода, оксида углерода и низших углеводородов. Дан анализ процессов флегматизации и ингибиции пламени, прекращения горения.	
Описаны показатели, характеризующие пожаровзрывобезопасность веществ и материалов в различных агрегатных состояниях, методы расчетного и экспериментального определения этих показателей.	
Учебник подготовлен на основе курса лекций по дисциплине “Теория горения и взрыва” Московского государственного строительного университета и предназначен для студентов технических ВУЗов, обучающихся по специальностям “Пожарная безопасность”, “Безопасность технологических процессов и производств”, “Безопасность в техносфере”, “Безопасность при чрезвычайных ситуациях”.	
B. В. Теребнёв, Н. И. Ульянов, В. А. Грачёв. Пожарная техника: Учебное пособие в 2-х т. — М., 2007. — Т. 1. “Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение”. — 328 с.; Т. 2. “Пожарные машины. Устройство и применение”. — 328 с.	500
В книгах приведены основные технические характеристики, устройство и применение насосов, огнетушителей, насосных установок, пожарных рукавов и стволов, рукавной арматуры, ручных пожарных лестниц, ручного и механизированного инструмента, боевой одежды и снаряжения пожарных, средств защиты органов дыхания и зрения, средств спасания. Рассмотрены возможные неисправности ПТВ, их причины и способы устранения.	
В томе 2 рассмотрены различные виды пожарных машин, их устройство и применение при тушении пожаров.	
Книга предназначена для специалистов, занимающихся проектированием, изготовлением и эксплуатацией пожарных машин, их постановкой на различные объекты, а также для практических работников, занимающихся пожаротушением. Книга будет полезна курсантам и слушателям учебных заведений пожарно-технического профиля.	
B. В. Теребнёв, А. В. Теребнёв, А. В. Подгрушный, В. А. Грачёв. Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: Учебное пособие. — М., 2006. — 304 с.	330
В книге изложены вопросы организации тактической подготовки должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре, изучения района выезда, проведения пожарно-тактических занятий, пожарно-тактических учений, групповых упражнений (деловых игр), использования в тактической подготовке активных методов обучения, а также изучения пожаров и разработки планов пожаротушения.	
Каждый раздел поясняется план-конспектом или решением конкретной пожарно-тактической задачи. Рассмотрены вопросы психологической подготовки.	
Книга предназначена для начальствующего состава пожарной охраны, а также для слушателей и курсантов пожарно-технических учебных заведений.	
Методические рекомендации по пожарно-строевой подготовке. — М., 2007. — 200 с.	200
Методические рекомендации по пожарно-строевой подготовке являются пособием по организации, проведению занятий и обучению личного состава подразделений пожарной охраны правилам (приемам) работы с пожарно-техническим вооружением, пожарным оборудованием, ручным пожарным инструментом, пожарными автомобилями, пожарными спасательными устройствами, средствами индивидуальной защиты пожарных.	

Наименование	Цена руб./экз.
Методические рекомендации предназначены для личного состава подразделений пожарной охраны, пожарно-технических научно-исследовательских учреждений и пожарно-технических учебных заведений, специальных подразделений пожарной охраны. Использование рекомендаций при обучении личного состава подразделений пожарной охраны осуществляется с учетом особенностей организации службы, регламентируемых законодательством РФ, нормативными правовыми актами субъектов РФ, а также ведомственными нормативными правовыми актами.	
О. С. Ефремова. Организация безопасной эксплуатации зданий и сооружений. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 184 с.	90
В данном издании собраны нормативные документы и рекомендации по организации эксплуатации и обслуживанию зданий и сооружений, проведению планово-предупредительных ремонтов, осмотров, технических проверок. Информация будет полезна для руководителей организаций и служб охраны труда.	
С. П. Карапулин. Экономика безопасного труда. — М.: Альфа-Пресс, 2007. — 192 с.	95
В настоящем издании излагаются основные вопросы экономики безопасного труда. Описывается теория приемлемого риска, приводятся оценка и анализ опасностей в сфере труда на примере субъекта РФ, основные составляющие элементы социальной и экономической эффективности мероприятий по охране труда, рассматриваются вопросы планирования, финансирования, налогового и бухгалтерского учета в сфере охраны труда, а также формы и методы расчетов социального и экономического эффектов от реализации трудоохраных мероприятий.	
Книга предназначена для руководителей, экономистов, бухгалтеров, специалистов по охране труда, профсоюзных работников, а также студентов высших учебных заведений очной формы обучения по направлениям подготовки (специальностям) 060800 (080502) "Экономика и управление на предприятии", 061000 (080504), 061100 (080507) "Менеджмент организаций", 656500 (280100) "Безопасность жизнедеятельности", 330100 (280101) "Безопасность жизнедеятельности в техносфере", 330500 (280102) "Безопасность технологических процессов и производств", слушателей факультетов повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров и широкого круга заинтересованных читателей.	
ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ	
Д. А. Корольченко. Огнетушители. Практическое применение: Учебное пособие. — М.: Пожнauка, 2007.	
Рассматриваются вопросы классификации, выбора и применения огнетушителей на пожаре. Содержит нормативно-технические документы, применяемые при проведении пожарно-профилактических мероприятий на предприятиях. Предназначено для рабочих различных отраслей промышленности, студентов технических ВУЗов, слушателей курсов повышения квалификации и широкого круга читателей.	
Издательство приглашает к сотрудничеству авторов и распространителей! Для наших распространителей существует гибкая система скидок!	

Заявку направить в отдел распространения издательства ООО “Издательство “Пожнаука”:

- ✓ по почте: 109052, г. Москва, ул. Смирновская, д. 1А;
- ✓ по тел./факсу: (495) 662-69-70, 662-69-71 (многоканальные);
- ✓ по e-mail: firescience@pisem.net;
- ✓ <http://www.firepress.ru>

Название организации, реквизиты (ИНН/КПП обязательно)	<p>ВНИМАНИЮ ЗАКАЗЧИКОВ! <u>Электронные версии высылаются по электронной почте!</u></p>
Наименование и количество заказываемой литературы (электронных версий)	
Вид доставки <ul style="list-style-type: none">• самовывоз• почтовая (+20% от стоимости заказа)	
Почтовый адрес, тел./факс, контактное лицо, e-mail	

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

ООО “Издательство “Пожнаука” продолжает подписку на 2008 г. на специализированный научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность” с приложением “Пожарная безопасность в строительстве”.

Стоимость подписки на полугодие — 1260 руб., на год — 2520 руб.

Подписка осуществляется:

- в почтовом отделении по каталогам “Роспечать” (83340) и ЗАО АПР (83647);
- через подписные агентства ООО “Вся пресса”, ООО “Интерпоста”, ООО “АртосГал”, ООО “Урал-Пресс XXI” и ООО “Информ-наука”.

Контактные телефоны:

(495) 662-69-70, 662-69-71 (многоканальные)

E-mail: firescience@pisem.net

Отдел рекламы и распространения: О. И. Нестерова, Л. И. Рахманова



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
УЧЕБНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

Тел./факс: (495) 662-69-70, 662-69-71

Наш сайт: www.mgsu.ru, рубрика “Образование.

Дополнительное профессиональное образование.

Учебный центр Института инженерной безопасности

в строительстве МГСУ”

E-mail: firescience@pisem.net

Лицензии:

Федеральной службы по надзору

в сфере образования и науки РФ

от 29.03.2005 г.;

ГУ ГПС МЧС РФ № 1/01061

от 21.05.2003 г.

Профессиональная переподготовка специалистов предприятий и организаций по программам дополнительного профессионального образования на основании установленных квалификационных требований по должностям:

**Инженер (техник) по специальности 330400 “Пожарная безопасность”
(550 часов – 6 месяцев)**

Изучаемые дисциплины:

- Пожар. Пожарная безопасность
- Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов
- Средства пожаротушения
- Пожаровзрывобезопасность технологических процессов
- Пожарная опасность электроустановок
- Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре
- Прогнозирование опасных факторов пожара
- Противопожарное водоснабжение
- Производственная и пожарная автоматика
- Огнезащита строительных материалов и конструкций

**Инженер (техник) по специальности 330500 “Безопасность
технологических процессов и производств” (510 часов – 6 месяцев)**

Изучаемые дисциплины:

- Общие вопросы охраны труда
- Производственная санитария
- Техника безопасности
- Пожаровзрывобезопасность

Форма обучения – заочная с применением дистанционных образовательных технологий.

Базовый уровень образования – высшее или среднее специальное.

Обучение проводится по индивидуальному графику.

Стоимость переподготовки – 35000 руб. (НДС не облагается).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о профессиональной переподготовке, который дает право на ведение профессиональной деятельности в определенной сфере.

ВТОРОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**Инженер по специальности 330400 “Пожарная безопасность”
(срок обучения – 3,5 года)**

Программа обучения составлена с учетом современных требований к данной специальности. Включает в себя помимо общих дисциплин все основные аспекты пожарной безопасности, особое внимание уделяется аспектам пожарной безопасности в строительстве:

- Теория горения и взрыва
- Пожаровзрывобезопасность технологических процессов и оборудования
- Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре
- Взрывозащита зданий
- Системы охранной и охранно-пожарной сигнализации

- Системы автоматического пожаротушения
- Моделирование развития пожаров в зданиях и прогнозирование опасных факторов пожара
- Эвакуация людей при пожаре

Программа и форма обучения корректируются индивидуально в зависимости от базового уровня образования отдельных слушателей и успешности выполнения ими учебного плана.

Формы обучения: очно-заочная; заочная с применением дистанционных образовательных технологий.

Стоимость обучения – 40000 рублей в год.

ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ для руководителей и специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности и охраны труда – 72 часа (с выдачей удостоверения государственного образца сроком на 5 лет)

- | | |
|---|------------|
| ● Пожарная безопасность объектов | 9800 руб. |
| ● Пожарная безопасность образовательных учреждений | 9800 руб. |
| ● Пожарная безопасность предприятий нефтегазового комплекса | 15000 руб. |
| ● Расчет сметной стоимости в составе проектной документации | 9800 руб. |
| ● Управление охраной труда на предприятии | 9800 руб. |

ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ для руководителей и специалистов по пожарной безопасности и охране труда – 40 часов (с выдачей удостоверения сроком на 3 года)

- | | |
|-------------------------------|-----------|
| ● Пожарно-технический минимум | 4100 руб. |
| ● Охрана труда | 4100 руб. |

ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ для руководителей и специалистов, работающих в сфере обеспечения пожарной безопасности и охранных систем – 72 часа (с выдачей удостоверения государственного образца сроком на 5 лет)

- | | |
|--|------------|
| ● Проектирование автоматических установок пожаротушения | 9800 руб. |
| ● Монтаж и эксплуатация автоматических установок пожаротушения | 9800 руб. |
| ● Проектирование пожарной сигнализации | 9800 руб. |
| ● Монтаж и эксплуатация пожарной сигнализации | 9800 руб. |
| ● Проектирование охранной и пожарно-охранной сигнализации | 11300 руб. |
| ● Монтаж и эксплуатация охранной и охранно-пожарной сигнализации | 11300 руб. |
| ● Проектирование средств и систем охраны | 11300 руб. |
| ● Монтаж и эксплуатация средств и систем охраны | 11300 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация автоматических установок пожаротушения | 12700 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация пожарной сигнализации | 12700 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация охранной и охранно-пожарной сигнализации | 14700 руб. |
| ● Проектирование, монтаж и эксплуатация средств и систем охраны | 14700 руб. |
| ● Системы охранного видеонаблюдения | 15500 руб. |
| ● Огнезащита строительных материалов и конструкций | 9300 руб. |

Возможно проведение занятий на базе предприятий и организаций как в г. Москве, так и в регионах Российской Федерации:

- по вышеперечисленным программам УВЦ ИИБС МГСУ;
- по индивидуальным программам, согласованным с предприятиями с учетом специфики их деятельности.

Начальник Учебно-выставочного центра – Ишуныклин Александр Иванович
Оформление договоров – Мельник Татьяна Ивановна



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья должна быть представлена в двух экземплярах, ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана автором. Корректура авторам не высыпается. Редакция будет признательна авторам за представление текста статьи и графического материала в электронном виде.

2. Размер статей, как правило, не должен превышать 20 стр. машинописного текста, включая иллюстрации, таблицы и библиографию.

3. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см.

4. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи;
- имена, отчества и фамилии авторов (полностью), должности, степени, звания, название организации, фотография, контактный телефон;
- реферат (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- подписи к рисункам;
- рисунки.

5. К статье необходимо приложить расширенную аннотацию на английском языке (объем не ограничивается) для наилучшего представления Вашей работы за рубежом.

6. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам (см. Политехнический словарь, 1989, с.647–649). Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и \bar{o}); греческие буквы подчеркиваются красным карандашом. Буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения.

7. Иллюстрации прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы раstraовых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Номера проставляются простым карандашом на каждом рисунке, а также в рукописи на левом поле страницы против соответствующего места в тексте. На обороте каждого рисунка ставится название статьи и фамилия автора. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы. Желательно прилагать электронные версии иллюстраций.

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

9. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

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

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

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

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакция:

Главный редактор журнала
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор
О. В. Коренькова

Отдел рекламы и распространения:
О. И. Нестерова, Е. Н. Василькова, Л. И. Рахманова

Chairman of Editorial Council:

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

Deputy of Chairman of Editorial Council:

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

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

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

Editorial Council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Professor Thomas Jim Shields

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

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief
О. В. Коренкова

PR and Subscription Section:

О. И. Нестерова, Е. Н. Василькова, Л. И. Рахманова

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”**Адрес редакции:**

109052, г. Москва, Смирновская ул., 1А

Тел.: (495) 662-69-70, 662-69-71

E-mail: fire-sci@mail.ru, firescience@pisem.net

Editorial Office Address:

Smirnovskaya St., 1A, Moscow, 109052 Russia

Phone: (495) 662-69-70, 662-69-71

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 28.09.07.

Формат 60×84 1/8. Тираж 10000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

БЕЗОПАСНОСТЬ

пожаровзрыво-

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА

на журнал

Карточка учета сведений о подписанке

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

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 купюна. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.

■ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по факсу (495) 662-69-70, 662-69-71 в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были выставлены **обе стопоны** купона

Оплату за подпиську Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"
Юридический адрес:
109052, г. Москва, ул. Смирновская, д.1 А, офис 402
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в АКБ "ПРОМСВЯЗЬБАНК" (ЗАО)
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам:
(495) 662-69-70, 662-69-71 (многотональный)**

ПОДПИСКА:

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");
через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;
через агентство "АПР", индекс 83647
через подписные агентства: ООО "Вся пресса",
ООО "Интерпресс" ООО "Эльстас" ООО "Урал-Пресс"

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА

на журнал

пожаровзрыво- безопасность

купон '2007

Издание	Цена подписки на полугодие, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Ставка подписки, руб.
Комплект: журнал "Пожаровзрывобезопасность" + приложение "Пожарная безопасность в строительстве". Полугодовая подписка Один комплект	1260	420	

Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.

В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.

Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по факсу (495) 662-69-70, 662-69-71 в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.

Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:

Юридический адрес:
Юридический адрес:

109052, г. Москва, ул. Смиряговская, д.1 А, офис 402
ИНН 7722589941 КПП 772201001

Р/с 40702810060120585901 в АКБ "ПРОМСВЯЗЬБАНК" (ЗАО)

БИК 0445583119

К/с 30101810600000000119

Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

*По вопросам подписки просим обращаться по телефонам:
(495) 662-69-70, 662-69-71 (многоканальный)*

ПОДПИСКА:

через агентство "РОСПЕЧТЬ", индекс 83340;

через агентство "АПР", индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");

через подписные агентства: ООО "Вся пресса",

ООО "Интерпоста", ООО "Эльстаг", ООО "Урал-Пресс"

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	Идентификационный номер (ИНН / КПП)
--	-------------------------------------

Код отрасли по ОККОНХ
Код отрасли по ОКПО

Полное наименование банка

Местонахождение банка

БИК

Расчетный счет

Корсчет

Юридический адрес
(в соответствии с учредительными документами)

Телефон по юридическому адресу

Фактический адрес

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС

Индекс

Область, край

Город

Улица

Дом

Телефон

Факс

Контактное лицо

Телефон контактного лица



Dr. STHAMER HAMBURG



**СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

109052, Москва, Смирновская ул., 1А
Тел./факс: (495) 662-69-70, 662-69-71 E-mail: spt@pisem.net

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ



Шторм-Ф и Шторм-М

Пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой и средней кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы.

Штамекс F-15 (STHAMEX F-15)

Углеводородный пенообразователь на основе синтетических ПАВ с широким спектром применения.

Штамекс многоцелевой (STHAMEX-Multiform F-15)

Высокоэффективные пленкообразующие синтетические фторсодержащие пенообразователи целевого и специального назначения для получения пены низкой, средней и высокой кратности. Служат для тушения пожаров классов А и В. Могут использоваться для подслойного пожаротушения.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006