

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 11' 2011

Новая стратегия и тактика тушения лесных пожаров

Контроль пылевзрывоопасности горных выработок угольных шахт

Зажигание жидкых горючих и легко-воспламеняющихся веществ типичными источниками ограниченной энергоемкости



Ориентиры развития негосударственной экспертизы

Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой

Молекулярное моделирование детонационных и взрывных процессов на основе теории активированного комплекса

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТОМ 20 • № 11 • 2011 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

Коробко В. Б. Ориентиры развития негосударственной экспертизы

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Стрижак П. А. Зажигание жидкых горючих и легко-воспламеняющихся веществ типичными источниками ограниченной энергоемкости

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Детерминированная компонента методики прогноза лесной пожарной опасности по неустановленным причинам

Лопанов А. Н. Молекулярное моделирование детонационных и взрывных процессов на основе теории активированного комплекса

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Голинько В. И., Котляров А. К. Контроль пылевзрывоопасности горных выработок угольных шахт

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Абдурагимов И. М. Новая стратегия и тактика тушения лесных пожаров

Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой

ДИСКУССИИ

Таранцев А. А. О некоторых положениях статьи "Описание развития пожара с помощью перколяционных моделей"

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

2 Korobko V. B. Reference Points of Development of Nonstate Examination

COMBUSTION PROCESSES

11 Strizhak P. A. Ignition of Liquid Combustible and Highly Inflammable Substances by Typical Sources with Limited Energy Content

FIRE MODELING

29 Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Deterministic Component of Forest Fire Danger Forecast Technique for Unstated Reasons

34 Lopanov A. N. Molecular Modeling of Detonation and Explosive Processes under the Theory of the Activated Complex

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

39 Golin'ko V. I., Kotlyarov A. K. Control of Dust Explosiveness the Mountain Making Coal Mines

FIRE EXTINGUISHING

44 Abduragimov I. M. New Strategy and Tactics of Extinguishing of Forest Fires

53 Dushkin A. L., Lovchinsky S. Ye. Combustible Liquid Flame and Water Mist Interaction

DISCUSSION

56 Tarantsev A. A. About Some Positions of Article "Percolation Model of Fire Development"

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

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

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



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

УДК 614.841.33

ОРИЕНТИРЫ РАЗВИТИЯ НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Даны экспертные оценки сложившейся ситуации и обозначены тенденции в развитии строительной экспертизы в направлении широкого внедрения негосударственной экспертизы.

Ключевые слова: государственная экспертиза; негосударственная экспертиза; техническое регулирование; "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"; "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Реформы градостроительной отрасли неразрывно связаны со стремлением власти создать в нашей стране благоприятный инвестиционный климат, который является неотъемлемым условием динамичного развития всей экономики, включая и саму градостроительную отрасль.

В этой связи все государственные регулирующие инстанции (далее — госрегуляторы) осуществляют предметный мониторинг существующих и поиск новых организационных форм реализации привычных отраслевых строительных процедур. Одной из важных процедур в градостроительной деятельности является экспертиза проектной документации, предусматривающая две формы ее реализации — государственную и негосударственную. На практике реализована только одна форма — государственная. Негосударственная экспертиза, которая была введена в Градостроительный кодекс [1] лишь формально, осталась за бортом градостроительного процесса. Законодатель не предусмотрел для нее никакого объема работ. Поэтому госрегулятор ограничился только созданием процедуры получения коммерческой компанией права на проведение негосударственной экспертизы проектной документации, которую сравнительно успешно смогли преодолеть уже более двух сотен компаний.

Остается определиться с объемами работ, которые могут быть возложены на негосударственных экспертов. В качестве одного из вариантов законодатель рассматривает возможность приравнять статус негосударственной экспертизы проектной документации к статусу государственной. Готово ли строительное сообщество к такому повороту событий? Попробуем ответить на этот вопрос.

Строительная отрасль не существует отдельно от общества. Готовность населения нашей страны к введению институтов гражданского общества и к более либеральным рыночным механизмам растет с каждым днем, и это видно по общей политической, экономической ситуациям и т. п. Строительная отрасль, являясь главным двигателем экономики, не может быть в стороне от этих процессов. Она просто обязана идти в ногу со временем и даже опережать его, поэтому без полноценного введения негосударственной экспертизы в градостроительные процедуры не обойтись. Специалисты строительного комплекса знают, что вводить негосударственную экспертизу уже пора, и может быть даже давно пора.

Экспертиза — коммерческая форма деятельности

Несомненно, экспертиза — мощнейший рычаг управления стройкомплексом. И совершенно понятно, что Минрегион, как монополист в области госэкспертизы, заинтересован в том, чтобы как можно дольше оттянуть момент широкого внедрения негосударственной экспертизы. Однако общество и профессионалы нуждаются в обратном. Даже если оставить в стороне самый главный, содержательный аспект... Госэкспертиза порой просто тормозит предпринимательскую деятельность. А чего стоят безумные очереди желающих сдать документацию в Фуркасовском переулке (по этому адресу расположено ФГУ "Главгосэкспертиза России").

Экспертиза по своей природе — коммерческий вид деятельности и должна осуществляться на платной основе, поэтому гораздо уместнее, если ею бу-

дут заниматься рыночные компании, а не государство. Но можно пойти и еще дальше. Вполне возможно, что в ближайшем будущем заказчики смогут проводить экспертизу не только в специальных коммерческих компаниях, но и собственными силами, если у них в штате будут свои эксперты. А крупные игроки строительного рынка уже давно располагают высококлассными техническими специалистами, которые успешно выполняют функции внутренней экспертизы заказчика. Реализация такого подхода будет уместна и по причине того, что за последствия реализации предполагаемых угроз в любом случае отвечает сам заказчик, а значит проводить качественную экспертизу — в его интересах. А вот на каком этапе развития рынка вводить добровольный порядок проведения экспертизы, должны решать сообща предприниматели, проектировщики и госрегуляторы.

Ситуация с введением негосударственной экспертизы в строительную сферу уже давно накалилась до предела и требует скорейшего разрешения. В настоящее время поправки в Градостроительный кодекс [1], касающиеся негосударственной экспертизы, находятся в последней стадии обсуждения, однако законодательный процесс непрост и извилист. По самым оптимистичным оценкам поправки будут приняты в середине этого года, по реальным — в конце, по пессимистичным прогнозам — только в следующем году.

А пока законодатели ищут “оптимальный” путь решения, фактическая государственная экспертная монополия уже с большим трудом справляется с объемом работ и явно буксует по качеству этих работ, превратившись в рудимент ушедшей эпохи социализма. Большинство госэкспертов исповедуют устаревшие принципы экспертной работы, присущие исключительно унитарной модели госуправления, навязывая заказчикам и проектировщикам под видом госэкспертизы услугу допроектирования. Попробуем разобраться с некоторыми деталями работы строительного эксперта и экспертизы.

Роль Федерального закона “О техническом регулировании” в работе строительных экспертов

В настоящее время строительный эксперт должен вести свою работу в строгом соответствии с Федеральным законом “О техническом регулировании” № 184-ФЗ [2]. Однако многие эксперты не только не знают его основных положений, но и считают, что данный закон вообще не имеет никакого отношения к их работе. И это позиция не отдельных государственных экспертов, а всего государственного экспертного сообщества.

Это сообщество пока убеждено само и навязывает это убеждение всем участникам рынка, что имеются правовые (?) основания для прямого применения технических требований и нарушения основных принципов технического регулирования. Стоит сказать, что в этом убеждении строительные госэксперты не единоки. Их поддерживают и строительные госнадзоратели (Ростехнадзор), и даже технические представители государственных и негосударственных заказчиков. В качестве весьма сомнительных правовых оснований для прямого применения технических требований эти чиновники выдвигают пролоббированные ими же и не очень четкие формулировки закона, а также правила так называемого “делового обычая”: мы так делали всегда, по-другому не умеем и не хотим. Такой, прямо скажем, безответственный подход к своей работе приводит к введению в заблуждение всех участников градостроительной деятельности, в том числе добросовестных инвесторов и собственников объектов, относительно предмета госэкспертизы и госнадзора, а также относительно обязательности несения ими затрат на обеспечение безопасности своего собственного имущества.

Если действовать в рамках этого закона, то полномочия у государственного контролера не очень-то большие: всего-навсего выяснить, обоснованы ли принимаемые проектировщиком решения. Но на деле чиновник от госконтроля действует иначе: он постоянно отвергает одни проектные решения и навязывает другие, ссылаясь при этом на требования нормативных технических документов добровольного применения. Он даже не отдает себе отчета в том, что тем самым постоянно вмешивается в процесс проектирования и строительства и, по сути, принимает решения вместо инвестора и собственника. Эти действия госконтролера являются явными нарушениями процедур, установленных в [2] и продублированных Федеральным законом № 384-ФЗ [3]. Но как только госконтролер нарушает установленные процедуры, то он автоматически попирает и конституционно закрепленные нормы материального права, а это уже совсем другая история. Такая ситуация в строительном деле пока остается практически без внимания со стороны прокуратуры и суда. Однако если у заказчика-собственника появляются мотивы отстоять свои интересы по закону, ему это всегда удается. И это несмотря на то, что претензии к нему предъявляют органы государственного надзора или прокуратуры. Решения в данных случаях суд принимает на основании закона [2], который предусматривает совершенно иные формы взаимодействия бизнеса и государства, чем те, к которым все привыкли.

В советские времена любое техническое, и не только техническое, требование госконтролера воспринималось как догма. На сегодняшний день это уже неуместно, и по сути, и по закону. То, какие меры обеспечения безопасности применять на объекте, должны сообща определять инвестор (собственник) и разработчик проектной документации. Если инвестор (собственник) выбирает проектное решение, связанное с повышенными рисками, то проектировщик должен ему на это указать. Но в итоге предприниматель имеет полное право не только попросить найти иные, более безопасные варианты, но и осознанно согласиться с этими рисками в условиях ограниченных технических и экономических ресурсов, своевременно оповестив об этом всех потребителей, и нести ответственность за свое решение в рамках закона. Потребитель также имеет право не принять или принять повышенный риск по своему усмотрению и должен нести ответственность за свое решение. Если инвестор желает обеспечить более высокий уровень безопасности объекта, проектировщик обязан обосновать затраты на такие мероприятия реальной необходимостью этих мероприятий, сняв тем самым возможные претензии фискальных контрольных органов в необоснованном расходовании средств.

Безопасность людей — обязательство собственника и ответственность госконтролера, имущественный риск — личное дело частного предпринимателя

К примеру, возьмем высотное здание. Какие решения ни применяй, а в случае пожара для эвакуации людей с 100-го этажа потребуется времени значительно больше, чем с 40-го или 10-го, и с этим ничего не поделаешь. Если инвестор принимает решение строить уникальный объект с повышенными рисками, то выбор способа возможной эвакуации людей также должен оставаться за ним (и за проектировщиком), а не за контрольно-надзорными органами. А у нас пока все наоборот: Госпожнадзор и опирающиеся на его мнение госэксперты запрещают для эвакуации людей с верхних этажей высотных зданий использовать лифты в исполнении “для пожарных подразделений”, которые хорошо защищены от опасных факторов пожара и пользование которыми в случае пожара безопасно для эвакуирующихся. Основания и мотивы этих чиновников абсолютно непонятны. Вместо достаточно здравой идеи вывести людей из опасного здания они обязывают устраивать в таких зданиях так называемые “пожаробезопасные зоны”, и это на высоте нескольких десятков и даже сотен метров над землей, и не для нескольких человек, а для нескольких десятков и даже сотен людей. Так, в одном из зданий комплекса

“Москва-Сити” предполагается устроить три таких зоны и в каждую “загнать” более 2 тыс. человек с 30-ти этажей. Причем чиновники не устанавливают для этих зон никаких, даже элементарных условий не только безопасности, но и жизнеобеспечения. Предполагается, что люди, повинуясь сигналам системы оповещения, сами, добровольно пойдут в такую зону и будут смиленно находиться в ней 3–4 часа. И никого из чиновников не смущает тот факт, что люди, находясь в этих зонах, скорее всего будут рисковать больше, чем при использовании для спуска специального лифта. Такие недальновидные, ничем не обоснованные и опасные решения навязываются сейчас предпринимателям через процедуру СТУ.

Следует заметить, что процедуру СТУ самым активным образом поддерживает не только Госпожнадзор, но и Минрегион, и отдельные эксперты (в сентябре – октябре 2011 г. ситуация в Минрегионе стала меняться). Перед последними в соответствии с законом стоит совсем другая задача: проверять, возможна ли эвакуация в принципе и могут ли быть в проекте предусмотрены иные решения по обеспечению безопасности людей. Эта задача не включает предписание каких-либо конкретных видов эвакуации или иные мероприятия, связанные с безопасностью людей и, тем более, с безопасностью частного имущества. Такая позиция госконтролеров малообъяснима и в случае реализации опасной ситуации: за последствия своих предписаний они не несут никакой ответственности. В таких ситуациях прокуратура и суд выясняют, были ли запроектированы и обоснованы необходимые мероприятия на случай ее возникновения. Если были — значит, к документации и собственнику вопросов нет. И тут уже не столь важно, осуществлялась экспертиза или нет. При этом все понимают, что реализованный имущественный риск — ответственность частного собственника и вопросы по его ненадлежащей защите уже сейчас, как правило, остаются за рамками таких разбирательств.

Конечно, в том случае, если объект имеет особую значимость, например международную, к нему должен быть особый подход, особые мероприятия, особые обоснования этих мероприятий и особые затраты на их осуществление. Но если будущее сооружение представляет исключительно частный интерес, нужно предоставить инвестору право самому делать свой выбор и отвечать за него, но при условии обязательного обеспечения приемлемого уровня безопасности людей.

Нужны совершенно другие, новые кадры

Иногда принимать решения, связанные с повышенными рисками, просто необходимо. Так живет

весь цивилизованный мир, все динамично развивающиеся страны. Но для того чтобы в органах государственного контроля это приняли как данность, нужны совершенно другие, новые кадры, которые никогда не слышали о СНиПах. Почему же так категорично приходится ставить вопрос об этом столь известном и широко применяемом нормативном техническом документе? Проблема кроется в сути этого документа. СНиП — это нормативно-технический документ, в котором собраны субъективные представления на разные случаи жизни. И было бы странно, если бы эти нормы и правила, собранные много лет (и даже десятков лет) назад по какому-то неизвестному нам случаю, отвечали современным реалиям — технологическому, социальному и экономическому уровням. Их обязательное применение могло быть востребовано только в период массового гражданского и промышленного строительства. В то время профессионалов высокого класса было не очень много, а темпы развития требовались высокие. Поэтому была введена “усредниловка”, которая сохранилась практически без изменений до сегодняшнего дня. Сейчас новые проекты становятся все более и более индивидуальными. Типовые требования из прошлого уже не только не актуальны, но и зачастую неприемлемы, и даже опасны.

Именно поэтому Президент и Правительство (в лице Минэкономразвития) постоянно “намекают” строительному сообществу, что от прямого применения СНиПов пора отойти, а Минюст “не желает” их регистрировать и превращать в обязательный ориентир в регулировании отношений в строительной отрасли. Многие таким “беспределом” возмущаются. Неужели придется жить и работать по-новому, в интересах инвесторов (собственников) и потребителей (просто граждан), а не в угоду собственным интересам?

В первую очередь это касается проектировщиков. В таком случае проектировщику придется самому рассчитывать все включенные в проект мероприятия и обосновывать их необходимость. Это очень сложная и ответственная работа, и не все проектные организации готовы ее выполнять. Значительно проще выиграть тендер на демпинге, “слепить” “по-быстрому” проект из типовых решений и “закинуть” в госэкспертизу — пускай решают: что лишнее, а чего не хватает. И не нести ни за что ответственность: в этом случае можно сослаться на требования либо СНиПов, либо СТУ (согласованных с надзорными органами и Минрегионом), либо госэкспертизы.

Да и у экспертов работа станет иной. Отпадет необходимость в механическом выискивании “неисполнения” множества малопонятных технических требований в конкретной проектной документа-

ции. Появится необходимость в знании всех процессов обеспечения безопасности и в сопоставлении их с принятymi проектными решениями. В этом случае эксперт не будет заниматься допроектированием или перепроектированием, а будет только оценивать факты: наличие проектных решений по обеспечению безопасности людей и имущества; наличие обоснований принятых проектных решений (их необходимость и обоснование их достаточности); соблюдение методологии получения доказательств и обоснований проектных решений.

Техническим представителям заказчика (собственника) работы и ответственности также прибавится. Всем “техническим участникам” строительной деятельности, действительно, придется значительно больше работать, а главное с умом, и, следовательно, значительно больше получать за свою работу. Это нельзя назвать проигрышем, ведь уровень доходов высококвалифицированных технических специалистов возрастет. А вот специалисты с низкой квалификацией тогда не будут востребованы. Им нужно будет переучиваться, чтобы соответствовать потребностям современной строительной индустрии. За формальное участие в процессе перестанут платить, и не только в стройиндустрии. Это объективные и естественные процессы развития.

В этой ситуации сильно выиграют заказчик и потребители. Такой подход предусматривает возможность значительной экономии материальных, финансовых и временных ресурсов, а главное — свободу распоряжения этими ресурсами с учетом только интересов предпринимателя, который в такой ситуации обязан действовать не только в своих интересах, но и в интересах потребителя. Такой подход снимет унизительную для государства необходимость перекладывания навязанных предпринимателю госконтрольными органами излишних затрат на потребителя. А потребитель получит экономически и технически оптимальный товар или услугу, включая обязательную информацию об уровне опасностей и угроз, связанных с их потреблением, а также свободу в принятии решения об их использовании.

Такая постановка вопроса многим специалистам строительного дела непривычна и даже пугает. Однако введение новых положений технического регулирования в практику жизни “испортит жизнь” исключительно недобросовестным участникам рынка, ограничив им доступ на этот рынок. Добросовестные же участники только выиграют: отношения станут более понятными и “прозрачными”, издержки на согласования своих решений с многочисленными регуляторами значительно сократятся.

Готовы ли проектировщики, строители, технические представители заказчика (инвестора) и госконтролеры к персонифицированной ответственности за принимаемые ими решения?

Много ли участников строительного рынка рады таким нововведениям? Можно не проводить сложных и дорогостоящих социологических исследований, а просто поговорить с любым проектировщиком, госэкспертом или техническим представителем заказчика либо полистать любой отраслевой журнал или газету. Мнений в поддержку технического регулирования практически не слышно, зато громких и резких окриков в его адрес чрезвычайно много. Правда, их тон несколько изменился после нескольких выступлений в поддержку техрегулирования высших лиц государства, однако свою позицию не-приятия технического регулирования большинство его антагонистов так и не изменило. Они все еще твердят об ошибочности курса реформ, трактуя либерализацию отношений в строительной отрасли как угрозу государственным интересам. В такой постановке вопроса чрезмерно много лукавства (за исключением отдельных "взрослых" специалистов, которые в принципе не могут принять рыночные реформы). Это лукавство становится все более явным не только для высших госрегуляторов, которые уже перестали серьезно относиться к его проявлениям, но и для других участников рынка. Однако недооценивать наличие такой массовой оппозиции либерализации отношений в строительном бизнесе было бы неосмотрительно. В этой связи впору ставить вопрос о причинах такого массового и явно неадекватного поведения отдельной социальной группы, демонстрирующей одновременно и стремление к установлению правил регулирования отношений в рыночной экономике, и пренебрежение к основным принципам самой рыночной экономики.

Такому массовому неприятию рыночных принципов должно быть логичное объяснение. А поскольку объективных причин неиспользования рыночных принципов при проектировании, строительстве и оценке их результатов нет, значит, реальная причина имеет скорее всего субъективный характер.

На острие ситуации на первый взгляд находятся госэксперты, как представители государства в строительных отношениях: ведь именно они первыми оценивают проектные решения, и под их позицию подстраиваются проектировщики и заказчики.

Однако думать, что во всем виноваты госэксперты, было бы наивно. У сложившейся ситуации более глубокие причины. Выбор в пользу прямого применения технических требований делают не только государственные эксперты. Этот подход начинается с заказчика (инвестора), его технические пред-

ставители недвусмысленно прописывают его в заданиях на проектирование. Думать, что сами инвесторы ничего не знают об этом, также было бы наивно. Проектировщики с "пониманием" реализуют заданный им подход и адресуют его экспертам. Экспертам в этой ситуации достается непростой выбор: либо принять ситуацию такой, как она есть, либо выступить против нее. И то, и другое для эксперта является проблемным. В первом случае он вступает в конфликт с положениями законодательства и может со временем понести заслуженное наказание за его нарушение. Во втором случае эксперт входит в конфликт с проектировщиками и техническими представителями заказчиков, да и заказчики часто не остаются в стороне. Заказчиков интересует результат, а не технические нюансы взаимодействия своих технических представителей с проектировщиками и экспертами, поэтому любые препятствия на своем пути заказчики по определению воспринимают очень болезненно и как посягательство на свои интересы. А в такой постановке любой инвестор-заказчик становится "всесильным" и может сломать практически любого эксперта (благо и своих, и государственных механизмов у него предостаточно), что, собственно, и происходит на практике. Поэтому эксперты считают за благо отсроченное и "мягкое выяснение отношений" с нарушением законодательства о техническом регулировании. И часто осознанно идут на его нарушение, поскольку опасаются (и не без оснований) "жестких" разборок с коллегами (проектировщиками и техпредставителями заказчика) и поддерживающими их заказчиками. В этом противостоянии силы явно не равны. У экспертов в реальности совсем другой выбор — между осознанным и вынужденным нарушением законодательства о техническом регулировании и уходом с экспертной работы. Редкий эксперт имеет возможность выбрать последний вариант.

Вот и получается, что ключевая роль в саботировании принципов технического регулирования сейчас принадлежит самим инвесторам-заказчикам. Они просто не хотят нести персонифицированную ответственность за принимаемые ими же решения. И это очень серьезный жизненный аргумент. Именно поэтому им очень выгодна сложившаяся ситуация с государственной экспертизой. Это позволяет им замкнуть гипотетический круг проектного сообщества и игнорировать правовые реалии уже сообща.

Однако стоит напомнить, что техническое регулирование — это наша техническая конституция и ее принципы основываются на принципах рыночной экономики. Это только на предвзятый взгляд закон, вводящий добровольное применение технических норм и правил, является деморализующим. А на са-

мом деле он расставляет все точки над “и”: да, ты можешь принимать любые решения, но ты обязан нести за них ответственность. Реальная проблема с внедрением принципов технического регулирования заключается не в том, что никто не знает, как по ним работать, а в том, что инвесторы и, как следствие, строительное сообщество не готовы нести персонализированную ответственность за результаты своего труда. Но такая ситуация не может продолжаться долго, поскольку рыночная экономика не терпит безответственности.

Может ли рынок негосударственной экспертизы изменить ситуацию?

Есть надежда, что в условиях формирования рынка новых негосударственных экспертных структур строительное сообщество не будет снова наступать на те же грабли, что и госэкспертиза. Есть надежда, что строительное сообщество осознает, что новые правила технического регулирования нужны прежде всего ему самому как средство защиты своих интересов. Эти правила позволят не только стабилизировать ситуацию с организационно-нормативными реформами, но и скорректировать позицию существующих инвесторов или привлечь более добросовестных. И уже с позиций не только силы, но и права решать все конфликтные ситуации, приводя строительный рынок в русло реальной рыночной цивилизации. Есть также надежда, что люди, которые будут осуществлять негосударственную экспертизу, отнесутся более ответственно к своей работе, ведь пожаловаться или подать в суд на частного эксперта значительно проще, чем на государственного. И это также будет определенным толчком к изменению ситуации.

Где взять новые кадры?

При этом решения требует еще один важный вопрос: где взять новых специалистов? Эксперты в строительной отрасли — все родом из СССР, выросли с идеей прямого и неукоснительного применения технических требований. При этом ответить на вопрос, зачем нужно то или иное написанное в нормативном документе требование, как оно влияет на безопасность людей и имущества, не может никто, включая их авторов. Рукотворным “памятником” этой ситуации в настоящее время является широко и печально известный Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” № 123-ФЗ [4], который включает огромное количество сомнительных технических требований, увеличивающих затраты на пожарную безопасность объектов в 4–5 раз, подставляя тем самым под удар не только инвесторов, но и все строи-

тельное сообщество, и даже “самых верхних” госрегуляторов.

Для того чтобы появились эксперты, которые в соответствии с законом не считают применение технических требований обязательным, Минрегиону как минимум неплохо бы организовать некую процедуру повышения квалификации и тестирования проектировщиков и экспертов в области технического регулирования. Эта необходимость продиктована особенностями введения технического регулирования в нашей стране.

Техническое регулирование — это совершенно особая область технического права, которого не было в нашей стране никогда и которое совершенно особенно, по-рыночному, расставляет акценты в отношениях между участниками строительного рынка. Техническое регулирование дает участникам незнакомые им ранее права, позволяя формировать и использовать свои реальные рыночные преимущества, налагая при этом на них реальную ответственность за принимаемые решения. В этой ситуации знание этого права экспертами — не желание, а обязанность. Обеспечить знание требований технического регулирования и контроль за их выполнением — задача главного строительного госрегулятора — Минрегиона. Однако пока, к сожалению, вопрос так не стоит. Минрегион ограничился формальной процедурой тестирования госэкспертов, в рамках которой проверяется скорее знание названия закона о техническом регулировании, чем знание его положений и особенностей его применения в экспертной деятельности. К негосударственным экспертам госрегулятор не предъявляет даже и этих требований.

Если госрегулятор строительной отрасли и другие госорганы будут заинтересованы в следовании духу и букве закона [2, 3], мы все сможем надеяться, что негосударственная экспертиза начнетносить свои плоды очень скоро и ситуация в строительной отрасли получит реальный толчок к переменам. А искушенный зарубежный (и не только зарубежный) инвестор получит наконец-то надежду на более понятное и реальное рыночное регулирование отношений.

К настоящему моменту Минрегион аккредитовал более 300 экспертных организаций, которые уже давно готовы приступить к работе. Не хватает только поправок в Градостроительный кодекс [1], поэтому негосударственные эксперты пока по большей части бездействуют. Экспертиза — вещь платная, и тратить деньги на дублирование одного и того же мероприятия никто из инвесторов не будет (разве что в исключительных случаях).

Однако хорошая проектная документация — это не только хорошие эксперты, но и не менее хорошие проектировщики, которые должны выпол-

нять единые правила, установленные одним госрегулятором — Минрегионом. Однако сейчас проектным организациям правила игры устанавливают два госрегулятора — Минрегион и Ростехнадзор. Такая ситуация двоевластия приводит к запрограммированным конфликтам и не может не вызывать удивления. Было бы более рационально, если бы эту работу вел только Минрегион.

Конкуренция на рынке экспертизы — объективный фактор повышения качества и снижения стоимости экспертных работ

Как уже было отмечено, на сегодняшний день государственная экспертиза, увы, зачастую занимается не оценкой качества выполненных проектных работ, а представляет собой скорую помощь для не совсем квалифицированных проектировщиков в доведении неготовой проектной документации до приемлемого уровня. Хотя изначально предметом экспертизы, разумеется, является совсем не это. А вот компании, осуществляющие негосударственную экспертизу, вполне смогут предлагать такую услугу официально, в рамках консалтинга. Если, конечно, это не будет ограничено законом.

Тем не менее главная проблема заключается в другом — в кадрах. По-настоящему высококвалифицированных экспертов немного (зарегистрированных экспертных организаций и то больше!). Возьмем, к примеру, Главгосэкспертизу. У нее девять филиалов, в каждом из которых работает по одному, максимум — по два эксперта по конкретному направлению. Ну и в московском офисе еще 3–5 экспертов. Таким образом, действующих высококлассных экспертов по каждому направлению — не больше 15–20 человек на всю страну. Вот это, действительно, конкуренция! Выбирать будут не только экспертные организации, но и специалистов. За классными специалистами скоро начнут охотиться, как за звездами НХЛ, а это заставит других работать над повышением своего профессионального уровня. Да и экспертные организации будут вынуждены более бережно относиться к своим кадрам, дорожить ими, устанавливать им высокие зарплаты, а не “гнуть их в бараний рог” по любому поводу в угоду заказчикам.

Существует также вероятность, что некоторые организации, предоставляющие услуги негосударственной экспертизы, могут прибегать к демпингу, намеренно занижая стоимость услуг, проявляя готовность за деньги решать любые вопросы или, наоборот, демонстрируя чрезмерную строгость в применении безграничного количества технических требований. Обе эти категории добропорядочных инвесторов пугают. Серьезных же организаций, способных решать проблемы по существу и в рамках закона о техническом регулировании, пока немно-

го. Но только такие организации способны стать катализатором повышения качества проектных и строительных работ и снижения необоснованных затрат инвесторов. И только они выживут в условиях конкуренции.

Нужно ли разделять сферы ответственности между государственной и негосударственной экспертизами?

Сейчас рассматриваются несколько вариантов существования государственной и негосударственной экспертиз. По одному из них статус обеих экспертиз будет единый, а значит, они будут равны. По другому варианту предполагается разделение сфер ответственности — по примеру федеральной госэкспертизы и госэкспертизы субъектов РФ. Предлагается предоставить государственной экспертизе исключительное право оценивать проектную документацию на особо опасные, технически сложные объекты, а также, вероятно, на все объекты, создаваемые с финансовым участием государства. Такое разделение представляется чрезмерно субъективным и искусственным и не может пойти на пользу как государственной, так и негосударственной экспертизе. От такого разделения проиграют все, поскольку это — тактическая уловка госрегулятора с целью сохранить ручной режим управления отраслью.

Разумнее было бы убрать такие ограничения и позволить конкурировать двум видам экспертизы на равных условиях. В то же время опасение госрегулятора в отношении представителей негосударственной экспертизы вполне понятно, ведь у них нет опыта такой деятельности. А в преддверии Олимпиады-2014, саммита АТЭС и других важных мероприятий ближайшего десятилетия планируется строительство очень и очень непростых объектов, и никто не хочет, чтобы они обслуживались малокомпетентными экспертами. Как бы то ни было, государственная экспертиза на сегодняшний день сосредоточила в своих рядах неплохих специалистов, а негосударственная — переживает период становления. Однако не стоит забывать, что и негосударственная экспертиза располагает неплохим потенциалом специалистов, многие из которых много лет были государственными экспертами и которые по разным причинам были вынуждены покинуть госэкспертизу. Эти высококлассные специалисты в ожидании поправок в [1] проектируют те самые важные объекты, которые проходят госэкспертизу. Не стоит также забывать, что эти негосударственные экспертные организации были аккредитованы Минрегионом и уже по одному этому факту обладают равными с органами госэкспертизы правами.

При этом, исходя из сути градостроительной деятельности, было бы более целесообразно вместо существующего чрезмерно субъективного деления проектируемых и экспертируемых объектов на обычные и особо опасные, уникальные и технически сложные [1] ввести разделение объектов по уровням сложности проектирования, строительства и, как следствие, оценки их соответствия: по уровням государственной и негосударственной экспертизы, госнадзора и контроля. Таких уровней может быть три, в зависимости от степени сложности задач, решаемых проектировщиками, строителями, экспертами и инспекторами:

- типовые задачи, которые могут быть частично решены с помощью прямого применения переработанных в рамках закона технических требований;
- нетиповые задачи, которые реально можно решить с помощью стандартных расчетных методов;
- уникальные задачи, требующие уникальных обоснований для нестандартных проектных решений, уникальных способов оценки рисков, которые будут учитывать и особую значимость объекта для интересов государства.

Такой подход выстроил бы в градостроительной отрасли и в области экспертизы значительно более эффективные отношения. Он позволил бы более широко применять негосударственную экспертизу, не ограничивая ее функции экспертизой проектной документации перед началом строительства. В квалифицированной комплексной строительной экспертизе, проводимой в соответствии с требованиями [2], в настоящее время нуждаются все участники градостроительной деятельности (инвесторы-собствен-

ники, проектировщики, строители, госконтролеры) на всех этапах жизненного цикла объектов, включая случаи наступления деструктивных событий. Это нужно и госрегуляторам — Минрегиону и Минэкономразвитию. В этом подходе очень нуждаются прокуратура и суды, которые все чаще вынуждены принимать решения, основанные не на мнении представителей отраслевых надзорных органов, а на реальных доказательствах, полученных независимыми высококвалифицированными экспертами. При этом только экспертные организации смогут предложить экспертизу комплексную, в которой больше всего нуждаются отраслевые надзоры, суды и прокуратура. И только массовая негосударственная экспертиза смогла бы заполнить имеющийся на сегодняшний день в этой области вакuum.

В направлении создания стройного института негосударственной экспертизы уже произошел настоящий прорыв. 23 сентября 2011 г. в Москве при поддержке Минрегиона и ФАС прошел I Всероссийский съезд организаций экспертизы в строительстве. Делегаты этого съезда абсолютным большинством голосов учредили Общероссийскую негосударственную некоммерческую организацию “Национальное объединение организаций экспертизы в строительстве” (НОЭКС). Другим решением съезда стало поручение руководству НОЭКС о ведении активной работы в Правительстве Российской Федерации и Государственной Думе по внесению изменений в законодательство по уравниванию в правах организаций государственной и негосударственной экспертиз. Государственная Дума планирует завершить все обсуждения этого законопроекта в октябре — ноябре 2011 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Кодекс от 29.12.2004 № 190-ФЗ : принят Гос. Думой 22.12.2004 ; одобр. Сов. Федерации 24.12.2004 // Российская газета. — 2004. — 30 декабря. — № 290 ; Собр. законодательства РФ. — 2005. — 3 января. — № 1 (ч. I).
2. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ : принят Гос. Думой 15.12.2002 ; одобр. Сов. Федерации 18.12.2002 // Российская газета. — 2002. — № 245.
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон № 384-ФЗ : принят Гос. Думой 23.12.2009 ; одобр. Сов. Федерации 25.12.2009 // Российская газета. — 2009. — 31 декабря. — № 255 ; Строительная газета. — 2010. — № 3–5.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 04.07.2008 ; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Российская газета. — 2008. — № 163 ; Собр. законодательства РФ. — 2008. — 28 июля. — № 30 (ч. I). — Ст. 3579.

*Материал поступил в редакцию 6 октября 2011 г.
Электронный адрес автора: vkorobko@mail.ru.*

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.

В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества.

Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

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



П. А. Стрижак
канд. физ.-мат. наук, доцент
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
г. Томск, Россия

УДК 536.468

ЗАЖИГАНИЕ ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ И ЛЕГКО- ВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ ТИПИЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ОГРАНИЧЕННОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

Проведен анализ современного состояния теоретических исследований физико-химических процессов, протекающих при зажигании жидких конденсированных веществ в условиях локального нагрева. Представлены физические и математические модели зажигания больших массивов, тонких пленок, смесей паров жидкого вещества с окислителем и одиночных капель жидкого горючего и легковоспламеняющихся веществ типичными источниками ограниченной энергоемкости (металлическими и неметаллическими частицами, проволочками, сфокусированными потоками излучения). Выделены возможные направления исследований и разработок на базе математического моделирования процессов зажигания жидкого конденсированного вещества при локальном нагреве.

Ключевые слова: зажигание; жидкое горючее и легковоспламеняющиеся вещества; частица; проволочка; поток излучения; пожарная опасность.

Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости являются наиболее пожаровзрывоопасными веществами. В первую очередь, именно этим можно объяснить тревожную статистику по числу возгораний, пожаров и взрывов на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности [1]. Число установленных источников зажигания жидкостей постоянно растет [2]. Однако можно выделить такие источники энергии, при первичном рассмотрении которых трудно прогнозировать вероятность воспламенения жидкого вещества. К числу таких источников относятся, например, одиночные, нагретые до высоких температур металлические и неметаллические частицы различной физической природы, которые нередко образуются в ходе технологических процессов на различных производствах [3–5]. В частности, на предприятиях металлургической промышленности при обработке заготовительных материалов формируются твердые и жидкые металлические частицы малых размеров, температура нагрева которых превышает несколько сотен градусов. К образованию таких частиц могут приводить также резка и сварка металлических конструкций, неконтролируемые техногенные и природные процессы.

К настоящему времени по результатам теоретических [6–51] и экспериментальных [52–56] исследе-

дований сформулированы основные положения общей теории [57] зажигания горючих жидкостей в условиях локального нагрева для большой группы систем: нагретая частица – жидкое вещество – окислитель (рис. 1, а); нагретая частица – пленка жидкого вещества – окислитель (рис. 1, б); неподвижная разогретая проволочка – смесь паров жидкого вещества с окислителем (рис. 1, в); движущаяся разогретая частица – смесь паров жидкого вещества с окислителем; разогретая частица – ткань, пропитанная жидким веществом – окислитель; сфокусированный поток излучения – жидкое вещество – окислитель (рис. 1, г); капля жидкости – массивное нагретое тело – окислитель (рис. 1, д).

Зажигание больших массивов жидких горючих веществ разогретыми частицами

На примере схемы, приведенной на рис. 1, а, рассмотрим наиболее типичную постановку задачи зажигания большого массива жидкого горючего вещества разогретой частицей. Предполагалось [6–16], что типичный источник ограниченной энергоемкости — разогретая частица малых размеров — под действием сил инерции осаждается на поверхность жидкого вещества и погружается в него (см. рис. 1, а). В результате приповерхностный слой жидкости

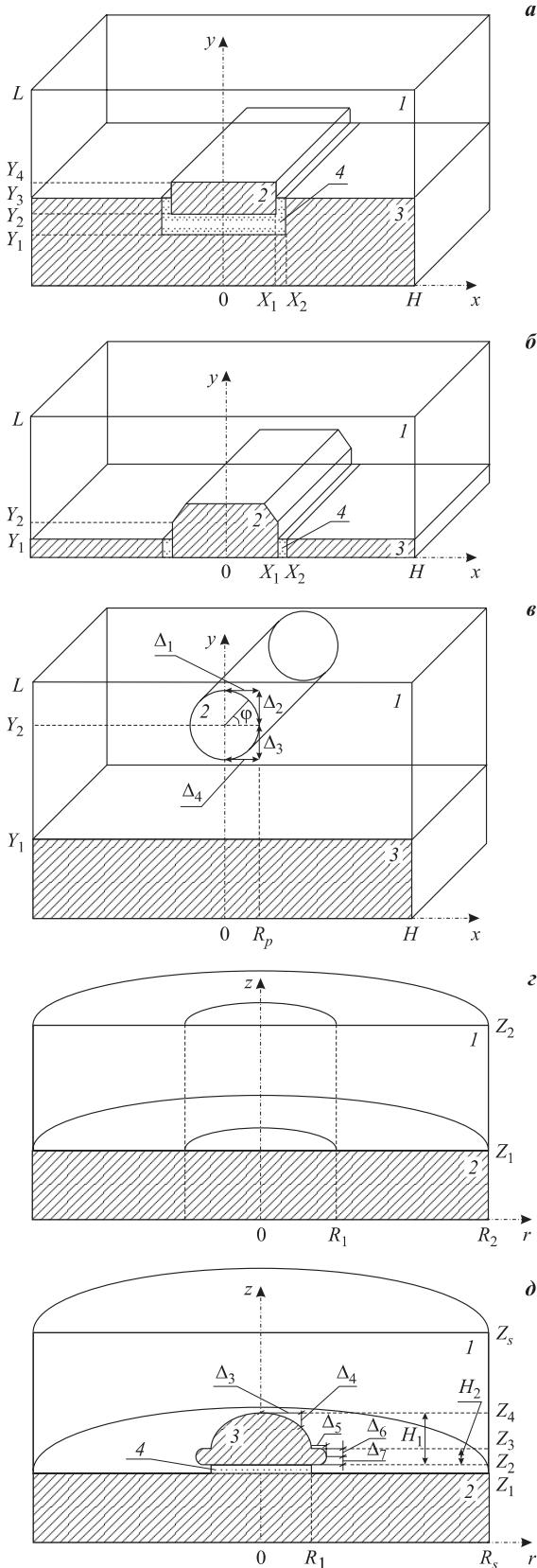


Рис. 1. Схема области решения задачи зажигания в системе:
а — частица — жидкость — парогазовая смесь; б — частица — пленка жидкости — парогазовая смесь; в — проволочка — жидкость — парогазовая смесь; г — поток излучения — пленка жидкости — парогазовая смесь; д — массивная подложка — капля жидкости — парогазовая смесь

прогревается, формируется паровой зазор между источником и жидким веществом. Пары горючего вдуваются и смешиваются с окислителем. За счет энергии, аккумулированной в источнике, парогазовая смесь прогревается. При достижении критических концентраций и температур происходит возгорание.

Приняты следующие условия воспламенения [6–16, 57]:

- тепло, выделяемое в результате химической реакции окисления паров горючего в воздухе, больше тепла, передаваемого от источника жидкому веществу и парогазовой смеси;
- температура смеси паров горючего и воздуха превышает начальную температуру источника.

Система нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепломассопереноса, имеет следующий вид [6–16].

Для парогазовой смеси ($0 < x < X_2$, $Y_1 < y < Y_2$; $X_1 < x < X_2$, $Y_2 < y < Y_3$; $X_1 < x < H$, $Y_3 < y < Y_4$; $0 < x < H$, $Y_4 < y < L$):

- уравнение движения:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = v_1 \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right] + \beta g \frac{\partial T_1}{\partial x}; \quad (1)$$

- уравнение Пуассона:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \omega; \quad (2)$$

- уравнение энергии:

$$\begin{aligned} \rho_1 C_1 \left[\frac{\partial T_1}{\partial t} + u \frac{\partial T_1}{\partial x} + v \frac{\partial T_1}{\partial y} \right] = \\ = \lambda_1 \left[\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right] + Q_o W_o; \end{aligned} \quad (3)$$

- уравнение диффузии:

$$\begin{aligned} \rho_4 \left[\frac{\partial C_f}{\partial t} + u \frac{\partial C_f}{\partial x} + v \frac{\partial C_f}{\partial y} \right] = \\ = \rho_4 D_4 \left[\frac{\partial^2 C_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_f}{\partial y^2} \right] - W_o; \end{aligned} \quad (4)$$

- уравнение баланса:

$$C_f + C_o = 1. \quad (5)$$

Для частицы ($0 < x < X_1$, $Y_2 < y < Y_4$):

- уравнение теплопроводности:

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left[\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right] + \frac{W_c Q_c}{L_p}. \quad (6)$$

Для жидкого вещества ($0 < x < H$, $0 < y < Y_1$; $X_2 < x < H$, $Y_2 < y < Y_4$):

- уравнение теплопроводности:

$$\rho_3 C_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left[\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right]. \quad (7)$$

Здесь ω — вектор вихря скорости, с^{-1} ;

t — время, с;

u, v — составляющие скорости конвекции смеси паров горючего и окислителя в проекции на ось x и y соответственно, $\text{м}/\text{с}$;

x, y — координаты декартовой системы координат;

ν — кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$;

β — коэффициент термического расширения, К^{-1} ;

g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

T — температура, К;

T_0 — начальная температура воздуха и жидкости, К;

ψ — функция тока, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C — удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

λ — коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

Q_o — тепловой эффект реакции окисления паров горючего в воздухе, $\text{МДж}/\text{кг}$;

W_o — массовая скорость окисления паров горючего в воздухе, $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$;

C_f — концентрация паров жидкого горючего вещества ($0 < C_f < 1$);

D — коэффициент диффузии паров жидкого горючего вещества в воздухе, $\text{м}^2/\text{с}$;

C_o — концентрация окислителя;

W_c — массовая скорость кристаллизации частицы, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$;

Q_c — тепловой эффект кристаллизации материала частицы, $\text{кДж}/\text{кг}$;

L_p — характерный размер частицы, м;

“1”, “2”, “3”, “4” — индексы, соответствующие смеси паров горючего с окислителем, частице, жидкости, парам горючего.

Начальные и граничные условия, а также выражения для определения W_c и W_o приведены в [6–16].

Система уравнений (1)–(7) с соответствующими начальными и граничными условиями решена методом конечных разностей [58]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений использован локально-одномерный метод [58]. Система одномерных разностных уравнений решена методом прогонки [58] с применением неявной четырехточечной разностной схемы и методом итераций [59]. При моделировании использовались справочные данные [60–63].

Установлены масштабы влияния основных параметров локального источника нагрева — разогретой частицы (температура T_p , размеры L_p и H_p) на условия зажигания [6–8] (рис. 2). При этом рассмотрены диффузионный и диффузионно-конвек-

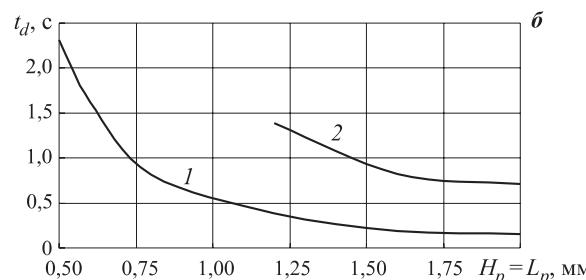
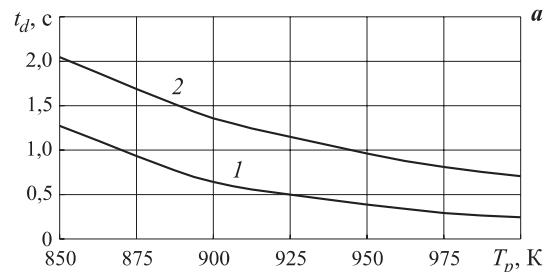


Рис. 2. Зависимость времени задержки зажигания керосина от температуры (а) и размеров (б) углеродистой частицы для моделей с диффузионным массопереносом (1) и диффузионно-конвективным массопереносом (2)

тивный механизмы массопереноса в газовой фазе. Зависимости времени задержки зажигания t_d от параметров T_p , L_p и H_p (см. рис. 2) хорошо соответствуют основным положениям современной теории зажигания конденсированных веществ [57]. При снижении температуры T_p и размеров L_p , H_p частицы, находящейся на поверхности жидкого вещества, уменьшается площадь ее контакта с воспламеняющим веществом и скорость прогрева приповерхностного слоя. Вследствие этого меньше тепла передается горючей жидкости, менее интенсивно происходит ее испарение и формирование восходящих потоков паров горючего. В таких условиях рост концентрации паров горючего в воздухе замедляется и вероятность воспламенения снижается. С другой стороны, зависимость t_d от размеров частицы объясняется тем, что при уменьшении последних источник зажигания теряет свое теплосодержание быстрее [6–8].

Сравнение значений t_d , соответствующих моделям с диффузионным (см. рис. 2, кривая 1) и диффузионно-конвективным (см. рис. 2, кривая 2) механизмами массопереноса паров горючего, позволяет сделать вывод о том, что движение смеси паров горючего с окислителем в воздухе усложняет механизмы переноса тепла и массы [6–8]. В таком случае более длительной становится стадия прогрева паров горючего в воздухе и, как следствие, времена задержки зажигания в несколько раз превышают аналогичные показатели для диффузионной модели тепломассопереноса. При этом показано [6–8], что установленные значения t_d существенно (на не-

сколько порядков) больше времен индукции — химических составляющих времен задержки зажигания t_a [57].

Проанализированы [9–11] масштабы влияния условий контакта (контакт, близкий к идеальному; наличие парового зазора; частичное или полное погружение) разогретой частицы с жидким топливом на характеристики зажигания. Установлено (рис. 3), что наименьшие времена задержки зажигания соответствуют условиям, близким к идеальному контакту между веществом и разогретой частицей. Наличие парового зазора между источником энергии и жидкостью с низким коэффициентом теплопроводности (по сравнению с жидким веществом и частицей) приводит при прочих идентичных условиях к большему увеличению времени задержки зажигания, чем при контакте на границе *частица – жидкость*, близком к идеальному. При погружении частицы в жидкое вещество увеличивается площадь поверхности источника, с которой осуществляется теплоотвод в жидкость и уменьшается площадь участков боковых поверхностей частицы, на которых происходит нагрев движущихся вверх паров горючего. Частица по мере погружения в жидкость более интенсивно остывает, ее теплосодержание уменьшается, и, как следствие, тепла, отдаваемого частицей в газовую фазу, становится недостаточно для нагрева и последующего воспламенения формирующейся вокруг нее парогазовой смеси. При полном же погружении частицы ни при каких температурах и размерах источника ограниченной энергоемкости условия воспламенения не реализуются [9–11].

Из решения задачи зажигания жидкого топлива частицей расплава металла (сталь, алюминий) с учетом кристаллизации материала источника энергии при остывании установлено [12], что за счет дополнительной энергии, выделяемой в результате кристаллизации материала источника, процессы тепломассопереноса в системе *расплавленная металлическая частица – керосин – воздух* протекают более интенсивно (рис. 4). При этом в области высоких температур фазовое состояние частиц играет определяющую роль [12].

Как правило, разогретые до высоких температур частицы, образующиеся при резке и сварке металлических конструкций, имеют шероховатые поверхности [3–5]. Анализ влияния шероховатости поверхности разогретой частицы на условия воспламенения жидкого топлива показал [13], что при понижении температуры частицы T_p усиливается влияние элементов шероховатости на инерционность зажигания (рис. 5). С увеличением же параметров шероховатости поверхности частицы возрастает площадь контакта жидкости с ее нижней гранью.

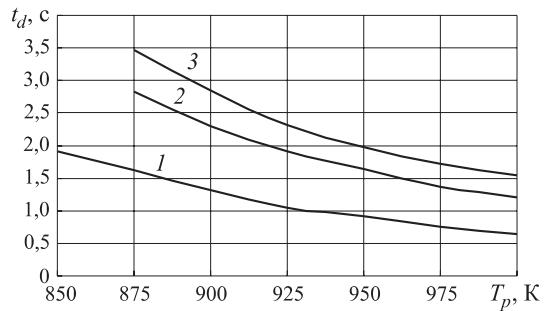


Рис. 3. Зависимость времени задержки зажигания бензина от температуры стальной частицы: 1 — при идеальном контакте частицы с жидкостью; 2 — при формировании парового зазора между частицей и веществом; 3 — при погружении частицы в жидкость

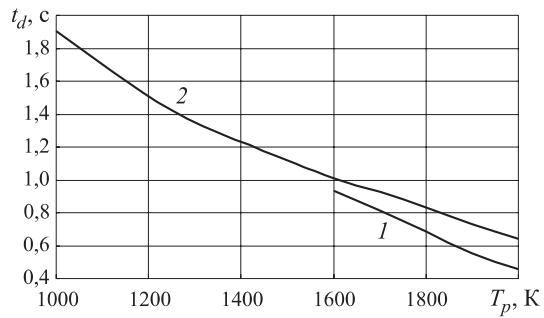


Рис. 4. Зависимость времени задержки зажигания керосина от температуры стальной частицы для моделей с учетом кристаллизации материала частицы (1) и без учета ее (2)

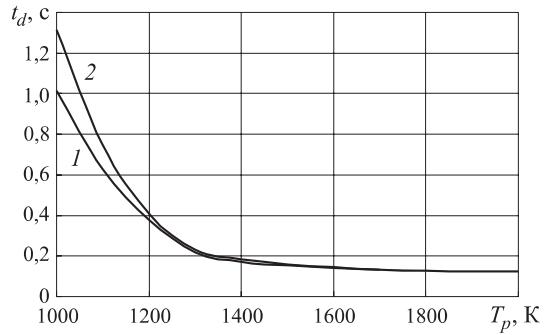


Рис. 5. Зависимость времени задержки зажигания керосина от температуры стальной частицы: 1 — шероховатой ($h_s = 0,2$ мм, $l_s = 0,4$ мм); 2 — гладкой

При этом уменьшается ее масса. В таких условиях источник нагрева погружается на меньшую глубину, процесс испарения жидкого горючего вещества проходит интенсивнее, больше подогретых паровых масс поднимается вверх и больше тепла передается формирующейся парогазовой смеси от частицы. При этом время протекания самой медленной стадии исследуемого комплекса процессов тепломассопереноса — прогрева смеси уменьшается и, как следствие, условия воспламенения реализуются при меньших значениях t_d .

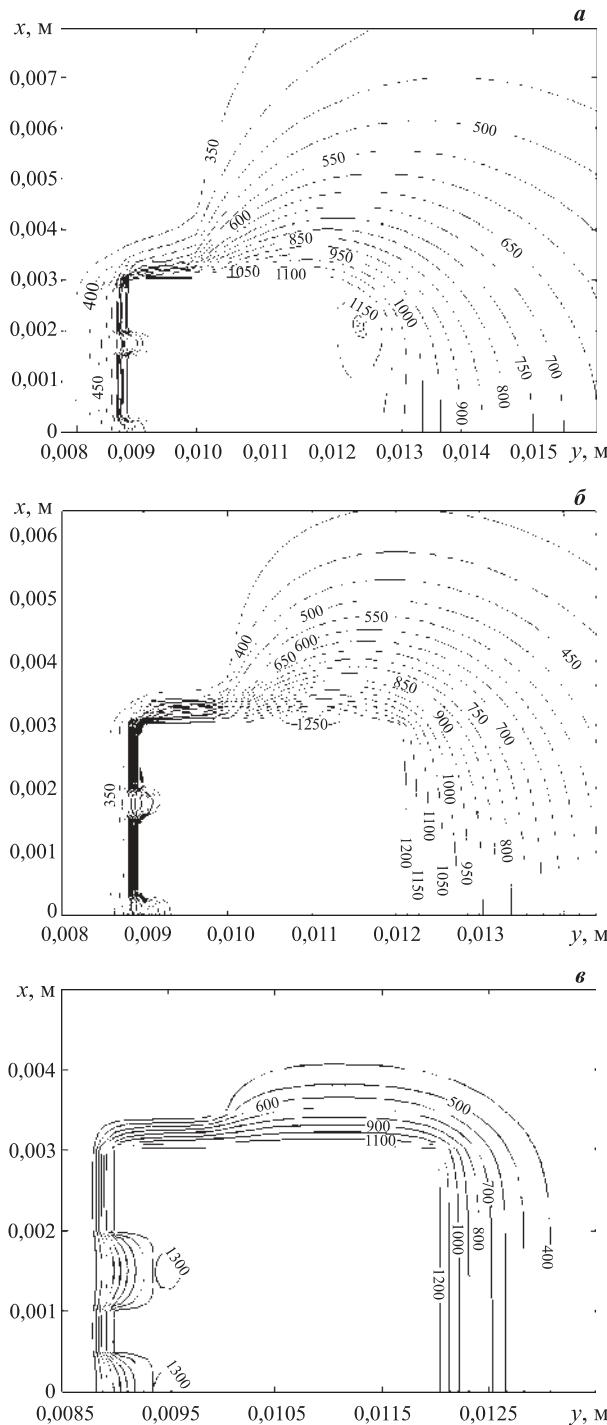


Рис. 6. Изотермы в системе шероховатая стальная частица – керосин – окислитель в момент воспламенения: *a* — $t_d = 0,549$ с, $h_s = 0,2$ мм, $l_s = 0,4$ мм, $T_p = 1150$ К; *б* — $t_d = 0,267$ с, $h_s = 0,2$ мм, $l_s = 0,4$ мм, $T_p = 1250$ К; *в* — $t_d = 0,126$ с, $h_s = 0,4$ мм, $l_s = 0,8$ мм, $T_p = 1250$ К

При увеличении параметров шероховатости и повышении температуры частиц возможна [13] реализация трех режимов зажигания: 1 — зона воспламенения формируется вблизи верхней грани погружающейся частицы (рис. 6, *a*); 2 — зона интенсивной химической реакции формируется вблизи боковой грани погружающейся шероховатой части-

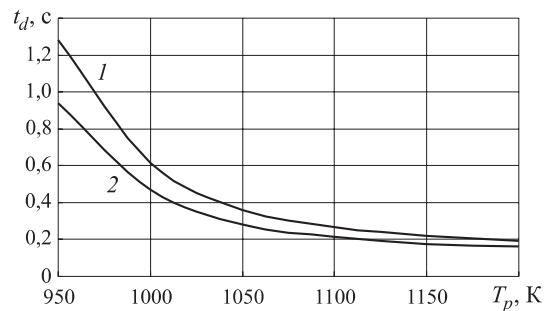


Рис. 7. Зависимость времени задержки зажигания керосина от температуры углеродистой частицы для двумерной (1) и одномерной (2) моделей

цы (рис. 6, *б*); 3 — воспламенение происходит в элементах шероховатости под погружающейся частицей (рис. 6, *в*).

Для гладких частиц [6–12] зона интенсивной химической реакции окисления ни при каких условиях не формируется в области парового зазора между источником нагрева и веществом. Следует отметить, что для выявления подобных режимов необходимы плоские [6–12] и пространственные [14] постановки задач зажигания. На примере упрощенных одномерных постановок [15, 16] можно провести оценку пожарной опасности взаимодействия горючей жидкости и частицы с заданными температурой и размерами. При этом одномерные модели [15, 16] дают близкие результаты к двумерным постановкам [6–12] (рис. 7). Однако выявить возможное перемещение зоны интенсивной химической реакции окисления на одномерных моделях трудно. Такие закономерности можно детально проанализировать только с применением плоских [6–13] и пространственных [14] схем.

Зажигание тонких пленок жидкого горючего веществ разогретыми частицами

Известны результаты численного моделирования [17–33] процессов зажигания тонких пленок жидкого топлива разогретыми до высоких температур металлическими частицами различной конфигурации (см. рис. 1, *б*). Использовались нелинейные нестационарные дифференциальные уравнения (1)–(7), записанные в цилиндрических и сферических координатах [17–33].

Установлены масштабы влияния формы (параллелепипед, многогранник, цилиндрический диск, полусфера) одиночной, нагретой до высоких температур частицы на условия тепломассопереноса при зажигании тонких пленок типичных жидкого топлив (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут) [17–20]. Показано, что конфигурация источника нагрева существенно влияет на время задержки зажигания тонкой пленки жидкого вещества (рис. 8)

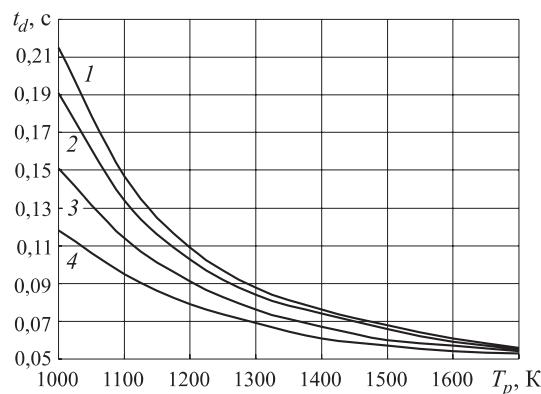


Рис. 8. Зависимость времени задержки зажигания пленки дизельного топлива от температуры стальной частицы в форме: 1 — полусфера, $R_p = 3$ мм; 2 — цилиндрического диска, $R_p = Z_p = 3$ мм; 3 — многогранника (см. рис. 1, б), $H_p = L_p = 3$ мм; 4 — параллелепипеда, $H_p = L_p = 3$ мм

[17–20]. Это играет особенно важную роль при соизмеримых размерах частицы и толщины пленки.

Площади поверхности контакта частицы в форме полусферы, диска, параллелепипеда и многогранника с пленкой горючей жидкости и парогазовой смесью существенно различаются [17–20]. Так, например, для полусферических частиц большая часть поверхности находится в контакте с жидкостью, а парогазовая смесь нагревается за счет малой энергии, аккумулированной в источнике нагрева. В таких условиях прогрев смеси проходит медленнее, в результате чего увеличивается время задержки зажигания t_d . Для частиц в форме цилиндрического диска и параллелепипеда при характерных размерах, близких к толщине пленки, площадь контакта источника нагрева с парогазовой смесью больше. Вследствие этого смеси передается больше энергии, и она быстрее прогревается. В результате условия воспламенения реализуются при меньших значениях t_d (см. рис. 8). Различие значений t_d для частиц в форме параллелепипеда и диска с одинаковыми характерными размерами также вызвано неравенством площадей контакта частицы с жидкостью и смесью [17–20]. В данном случае при решении плоских задач тепломассопереноса это неравенство обусловлено неограниченностью размеров частицы в форме параллелепипеда по третьей координате и фиксированными аналогичными размерами частицы в форме диска. Для многогранника (см. рис. 1, б) в сравнении с параллелепипедом определяющую роль играет суммарная площадь поверхности, не погруженной в жидкость.

При увеличении размеров частиц влияние их конфигурации в случае фиксированной толщины пленки жидкости L_l становится менее масштабным, чем в случае, когда их размеры близки к толщине L_l . Этот результат объясняется [17–20] тем, что при уве-

личении размеров источника нагрева относительно L_l уменьшается площадь контакта источника с жидкостью и доля энергии частицы, расходуемой на нагрев и испарение конденсированного вещества. При этом увеличивается аккумулированная энергия источника, передаваемая парогазовой смеси. В таких условиях при близких площадях контакта источников ограниченной энергоемкости различной конфигурации с жидкостью и существенно отличающихся площадях контакта со смесью изменение параметра t_d незначительно (см. рис. 8).

Стадия прогрева парогазовой смеси при $T_p < 1300$ К играет главную роль в общем комплексе процессов тепломассопереноса в малой окрестности источника нагрева [17–20]. Тела в форме полусферы быстрее остывают согласно общей теории теплопереноса по сравнению с дисками, параллелепипедами и многогранниками, так как им свойственно наименьшее отношение площади поверхности к занимаемому объему. Эти факторы проявляются более масштабно при размерах частицы, близких к толщине пленки, и относительно невысоких температурах ($T_p < 1300$ К). Большое значение имеет соотношение площадей контакта источника ограниченной энергоемкости с жидкостью и формирующейся парогазовой смесью [21, 22].

Зависимость времени задержки зажигания t_d от соотношения площадей контакта [21, 22] разогретой стальной частицы с пленкой бензина S_{pl} и с формирующейся парогазовой смесью S_{pv} показывает, что параметр S оказывает существенное влияние на характеристики исследуемого процесса зажигания (рис. 9). Например, при $S = 0,5$ и $S = 2$ значения t_d различаются в несколько раз. Минимальное время задержки зажигания t_d в рассматриваемой системе наблюдается при $S = 0,5$. Этот результат позволяет сделать вывод о том, что для минимизации инерционности процесса зажигания площадь S_{pv} должна превышать площадь контакта частицы с жидкостью S_{pl} в два раза.

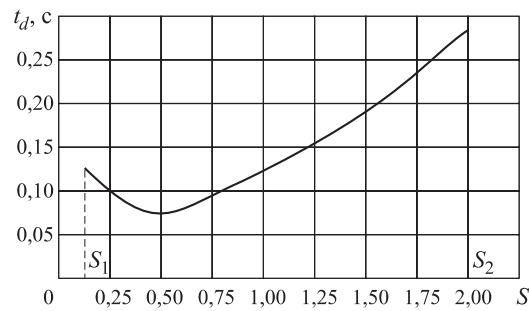


Рис. 9. Зависимость времени задержки зажигания пленки керосина стальной частицей в форме цилиндрического диска размером $R_p = Z_p = 3$ мм от соотношения S при $T_p = 1500$ К ($S_1 = 0,125$, $S_2 = 2$, где S_1 , S_2 — минимальное и максимальное значения параметра S , при которых происходит зажигание)

При уменьшении S относительно 0,5 значения t_d увеличиваются, а при $S < 0,125$ зажигание не происходит. Установленная закономерность объясняется [21, 22] тем, что при снижении соотношения S за счет уменьшения толщины пленки L_l увеличивается время прогрева и испарения жидкого топлива. При высокой температуре воздуха у боковой грани частицы вблизи границы испарения жидкости разогрев формирующейся парогазовой смеси проходит интенсивно. Но поскольку при уменьшении S снижается массовая скорость испарения и концентрация горючего в газовой области в малой окрестности частицы возрастает медленно, значения t_d увеличиваются.

С другой стороны, при увеличении соотношения S площадь контакта разогретой частицы с жидкостью S_{pl} становится больше. В таких условиях увеличивается доля аккумулированной в источнике энергии, расходуемой на нагрев и испарение топлива. Как следствие, частица быстрее отдает тепло жидкости и остывает. При этом остается меньше энергии на разогрев формирующейся парогазовой смеси. Так, например, при $S > 2$ условия воспламенения в рассматриваемой системе взаимодействующих веществ не реализуются, что характерно для случая полного погружения частицы в пленку жидкого топлива.

Исследовано “совместное” влияние нескольких источников ограниченной энергоемкости на условия тепломассопереноса и характеристики зажигания [23, 24]. Зависимость времени задержки зажигания t_d от величины L_{np} (рис. 10), характеризующей отношение расстояния между частицами к определяющему размеру источников энергии R_p , показывает, что в системе *две разогретые стальные частицы – пленка керосина – воздух* в зависимости от значения L_{np} могут реализовываться три режима зажигания ($1 - L_{np} < L^*$; $2 - L_{np} = L^*$; $3 - L_{np} > L^*$, где L^* — значение параметра L_{np} , при котором достигается минимальное время задержки зажигания). Для каждого режима характерны определенные диапазоны изменения времен задержки зажигания t_d и положение зоны локализации ведущей химической реакции окисления в газовой области относительно поверхностей источников нагрева и испаряющегося топлива. При начальной температуре частиц $T_p = 1000$ К характерное значение L^* составляет 0,5 [23, 24], а при ее повышении до $T_p > 1000$ К параметр L^* увеличивается. Это обусловлено тем, что с повышением T_p возрастает теплосодержание источников и усиливается влияние соседних частиц на процессы нагрева пленки жидкого топлива и формирующейся парогазовой смеси. При понижении начальной температуры источников нагрева до $T_p < 1000$ К значение L^* уменьшается и влияние

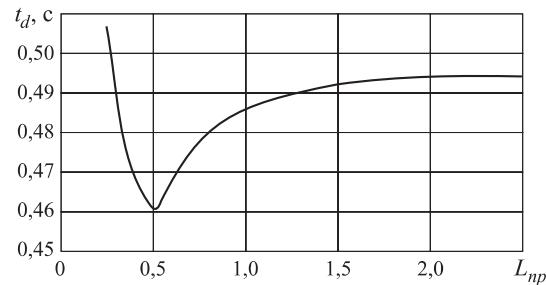


Рис. 10. Зависимость времени задержки зажигания пленки керосина двумя стальными частицами в форме цилиндрических дисков размерами $R_p = Z_p = 3$ мм от соотношения L_{np} при $T_p = 1000$ К

L_{np} на время задержки зажигания t_d усиливается. В [23, 24] показано, что вне зависимости от параметра L_{np} формируются две локальные зоны воспламенения (два очага зажигания), каждая из которых располагается в малой окрестности “своего” источника нагрева. При этом с ростом параметра L_{np} эти зоны сближаются. На основании этого сделан вывод [23, 24], что для численного исследования закономерностей тепломассопереноса при зажигании жидких горючих веществ, в частности углеводородных топлив, несколькими разогретыми до высоких температур частицами при расстоянии между ними больше некоторого критического значения (L^*) можно использовать модель одиночной частицы. При этом в каждом конкретном случае параметр L^* будет принимать различные значения.

Не менее важным фактором, определяющим характеристики зажигания тонких пленок жидкых топлив при локальном нагреве, является влияние вынужденной конвекции окислителя (или смешанной конвекции паров горючего и окислителя). Установлено [25–28], что предельные скорости окислителя, при которых происходит зажигание, существенно изменяются с ростом температуры источника нагрева (рис. 11). При повышении скорости движения воздушных масс и уменьшении температуры частицы конвективный перенос паров горючего замедляется, вследствие чего инерционность зажигания возрастает. При снижении же скорости движения воздушных масс и повышении температуры частицы конвективный перенос паров горючего ускоряется, что приводит к уменьшению времен задержки зажигания. В достаточно широком диапазоне изменения скоростей воздуха и температур частиц вынужденная конвекция окислителя и конвективный перенос паров горючего оказывают противоположное влияние на характеристики зажигания [25–28].

Анализ масштабов влияния естественной конвекции в жидкости при ее зажигании локальным источником нагрева [29] показал (рис. 12), что наличие конвективного теплопереноса в жидком веществе

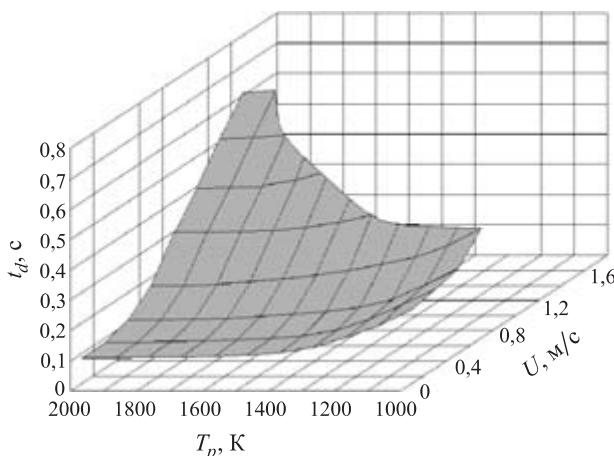


Рис. 11. Зависимость времени задержки зажигания пленки керосина от температуры стальной частицы и скорости воздушных масс

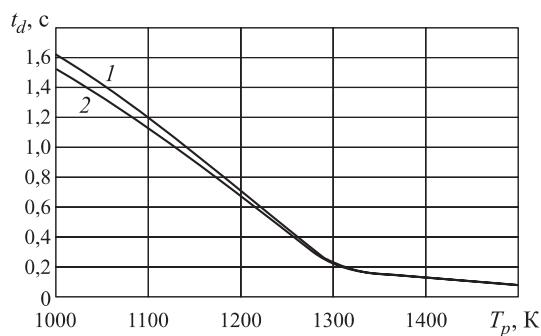


Рис. 12. Зависимость времени задержки зажигания пленки керосина от температуры стальной частицы для моделей с естественной конвекцией в жидкости (1) и без учета ее (2)

приводит к некоторому увеличению значений t_d вследствие интенсификации процесса теплопереноса в жидкости и дополнительного отвода энергии от поверхности испарения. Максимальные отклонения времен задержки зажигания t_d для кривых 1 и 2 (см. рис. 12) достигаются при относительно небольших начальных температурах частиц ($T_p = 1000$ К) и составляют 6 %. При повышении значений T_p влияние естественной конвекции в жидкости на характеристики зажигания, и в частности на времена задержки t_d , уменьшается. Этот неочевидный, на первый взгляд, результат обусловлен тем, что при повышении температуры источника интенсифицируются процессы прогрева жидкости, ее испарения и последующего окисления паров в газовой фазе. В таких условиях времена задержки зажигания минимальны. При этом характерное время конвекции в жидком керосине в несколько раз превышает характерное время задержки зажигания паров этого топлива. Влияние естественной конвекции в жидкости на характеристики зажигания несущественно

(при $T_p > 1300$ К отклонения значений t_d кривых 1 и 2 менее 1 %). При снижении же температуры источника энергии возрастают характерные времена некоторых стадий зажигания (прогрева приповерхностного слоя жидкости и парогазовой смеси), в результате чего роль группы процессов, в частности конвективного теплопереноса в жидкости, усиливается [29].

Сопоставление результатов исследований [25–28] и [29] позволяет сделать вывод о том, что роль конвективного тепломассопереноса в газовой фазе более масштабна по сравнению с аналогичными процессами в жидкости. Смешанная конвекция паров жидкого вещества и окислителя существенно влияет на характеристики и режимы зажигания топлив. При этом определяющее значение имеет вынужденная конвекция окислителя [25–28], от интенсивности которой зависит возможность реализации условий воспламенения.

Установлена роль выгорания приповерхностного слоя вещества в общем цикле физико-химических процессов и фазовых превращений, протекающих при зажигании жидких конденсированных веществ источниками ограниченной энергоемкости [30, 31]. Показано, что с ростом температуры источника масштабы влияния выгорания вещества на характеристики зажигания снижаются. Выявленная закономерность объясняется нелинейной зависимостью скорости химического реагирования W_o от температуры [30, 31]. С ростом начальной температуры источника энергии T_p процессы нагрева, испарения жидкости, прогрева парогазовой смеси, химического реагирования паров горючего с окислителем ускоряются. Времена задержки зажигания t_d при этом значительно уменьшаются. Процесс зажигания проходит за относительно небольшой интервал времени, и жидкость не успевает существенно “выгореть”. Толщина выгоревшего слоя пленки жидкости не превышает 0,3 мм [30, 31] при самом длительном временном интервале задержки зажигания ($t_d = 1,465$ с). При повышении T_p (и сокращении t_d) уменьшаются глубина погружения источника нагрева в жидкость, размеры парового зазора и толщина выгоревшего слоя. Так, например, при $T_p = 1700$ К за время $t_d = 0,071$ с глубина погружения частицы в жидкость не превышает 0,1 мм; размеры парового зазора между разогретой частицей и жидкостью при этом остаются менее 0,04 мм; толщина выгоревшего слоя не достигает и 0,01 мм [30, 31].

Анализ закономерностей зажигания тонких пленок горючих жидкостей разогретыми частицами показывает [17–33], что в таких системах реализуются все три механизма теплопереноса — кондуктивный, конвективный и радиационный. Для опре-

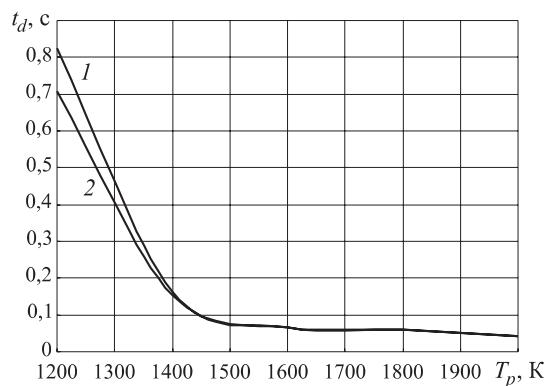


Рис. 13. Зависимость времени задержки зажигания пленки дизельного топлива от температуры стальной частицы для моделей с радиационным теплообменом (1) и без учета его (2)

деления роли радиационного теплообмена на условия зажигания выполнен цикл теоретических исследований [32, 33]. При этом установлено, что отклонения характеристик зажигания жидкостей с учетом радиационного механизма и без учета его составляют не более 15 % (рис. 13). Кроме того, выявлено, что с ростом температуры источника нагрева эти отклонения уменьшаются [32, 33]. Так, например, при $T_p = 1200$ К отклонение времен задержки зажигания составляет 14,3 %, а при $T_p = 2000$ К — 0,5 %. При дальнейшем повышении T_p значения отклонений кривых 1 и 2 изменяются несущественно (менее 0,1 %). Полученный результат является неочевидным, так как при повышении температуры источника нагрева роль радиационного теплообмена в общем процессе прогрева жидкого топлива и парогазовой смеси возрастает. Вместе с тем при повышении температуры разогретой частицы времена задержки зажигания уменьшаются по экспоненте. Соответственно, при учете и без учета лучистого теплообмена значения t_d с ростом T_p существенно снижаются. При этом разность значений t_d (кривые 1 и 2) не возрастает, как можно было предположить, а также уменьшается.

В [32, 33] установлены диапазоны изменения начальной температуры частицы, при которых разность значений t_d (см. рис. 13, кривые 1 и 2), с одной стороны, существенна, а с другой — наоборот, минимальна. Так, например, при высоких температурах ($T_p > 2000$ К) кривые 1 и 2 расходятся менее чем на 1 %, а при относительно низких температурах ($T_p < 1200$ К) — превышают 14 %. Этот результат объясняется тем, что при понижении T_p сокращается энергетический запас частиц [32, 33]. Вследствие этого уменьшается доля энергии, передаваемой от источника нагрева на разогрев жидкости и прогрев формирующейся парогазовой смеси, что влечет за собой повышение инерционности процесса

зажигания. Роль радиационного теплообмена становится более заметной. Дополнительная энергия, отводимая от разогретой частицы за счет лучистого теплообмена, при различных температурах T_p приводит к ускорению процессов тепломассопереноса и химической реакции окисления. Однако при высоких температурах в силу малой длительности процесса зажигания этот эффект мало заметен. При увеличении же инерционности комплекса физико-химических процессов, протекающих при зажигании жидкостей, влияние этого фактора становится ощутимым.

Зажигание смесей паров жидких горючих веществ и окислителя нагретыми неподвижными проволочками и движущимися частицами

Экспериментальные исследования [52–56] показали, что механизмы, режимы и времена задержки зажигания типичных жидкких топлив (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут) при локальном нагреве существенно различаются. Установлено [54], что бензин воспламеняется даже при отсутствии непосредственного контакта с разогретой частицей (при ее пролете над поверхностью топлива). Керосин, мазут и дизельное топливо зажигаются только в процессе погружения в них разогретых частиц. Эти результаты показали необходимость разработки моделей (см. рис. 1, в) газофазного зажигания жидкких топлив локальными источниками нагрева без непосредственного контакта с жидкостью (неподвижная накаленная проволочка, находящаяся на определенном расстоянии от поверхности испаряющегося вещества, движущаяся разогретая частица в формирующемся смеси и т. п.).

Численные исследования закономерностей зажигания смесей паров жидкких топлив и окислителя неподвижными локальными источниками энергии [34–36], находящимися на определенном расстоянии от поверхности жидкости, позволили установить зависимости времени задержки зажигания смесей от температуры и характерных размеров источника нагрева, температуры и влажности воздуха, расстояния от поверхности жидкости до источника. Аналогичные зависимости (рис. 14) выявлены для процессов зажигания смесей движущимися по различным траекториям разогретыми металлическими частицами [37–39].

Результаты исследований [34–39] позволяют сделать вывод о том, что во многих случаях зажигание жидкких топлив накаленными проволочками, стержнями и одиночными горячими частицами происходит до их взаимодействия с открытой поверхностью топлива. Так как расстояние от поверхности, на котором происходит воспламенение, отно-

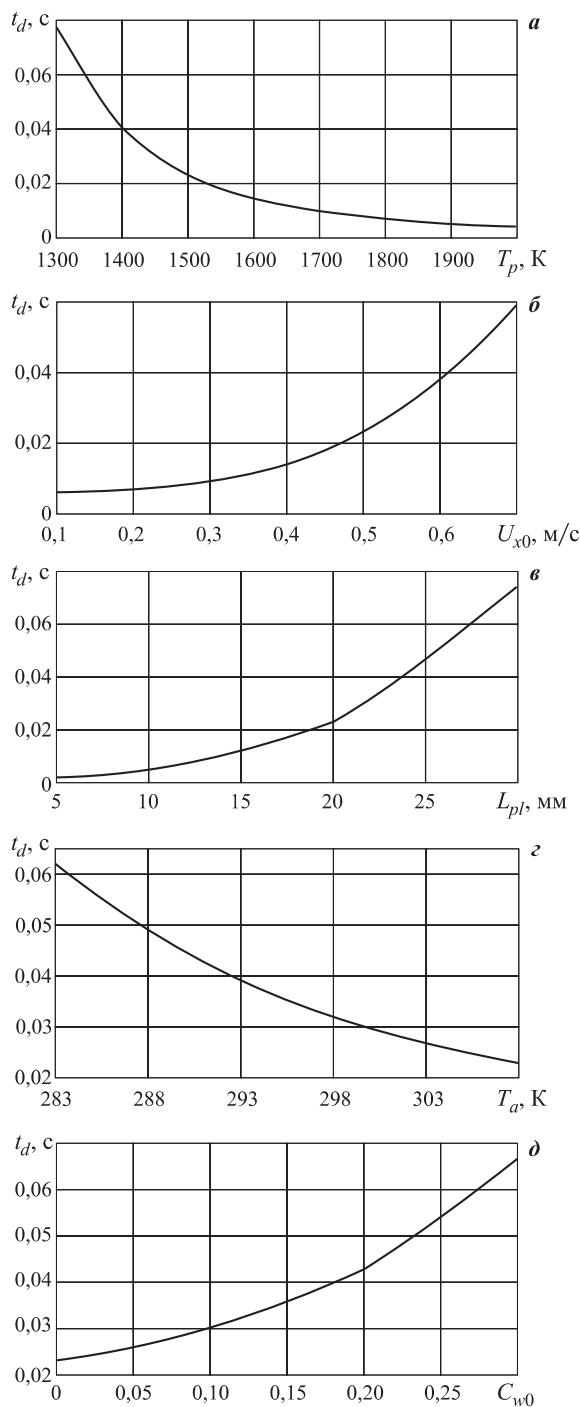


Рис. 14. Зависимость времени задержки зажигания смеси паров бензина с окислителем движущейся по криволинейной траектории стальной частицей от параметров: а — температуры источника энергии, $L_p = 2 \text{ мм}$, $H_p = 4 \text{ мм}$, $U_{x0} = 0,5 \text{ м/с}$, $a = 1 \text{ м}/\text{с}^2$, $L_{pl} = 20 \text{ мм}$, $T_a = 308 \text{ К}$, $C_{w0} = 0$; б — начальной скорости частицы, $L_p = 2 \text{ мм}$, $H_p = 4 \text{ мм}$, $T_p = 1500 \text{ К}$, $a = 1 \text{ м}/\text{с}^2$, $L_{pl} = 20 \text{ мм}$, $T_a = 308 \text{ К}$, $C_{w0} = 0$; в — начального расстояния от поверхности жидкости до движущейся частицы, $L_p = 2 \text{ мм}$, $H_p = 4 \text{ мм}$, $T_p = 1500 \text{ К}$, $a = 1 \text{ м}/\text{с}^2$, $U_{x0} = 0,5 \text{ м/с}$, $T_a = 308 \text{ К}$, $C_{w0} = 0$; г — температуры окружающего воздуха, $L_p = 2 \text{ мм}$, $H_p = 4 \text{ мм}$, $T_p = 1500 \text{ К}$, $a = 1 \text{ м}/\text{с}^2$, $U_{x0} = 0,5 \text{ м/с}$, $L_{pl} = 20 \text{ мм}$, $C_{w0} = 0$; д — начальной влажности окружающего воздуха, $L_p = 2 \text{ мм}$, $H_p = 4 \text{ мм}$, $T_p = 1500 \text{ К}$, $a = 1 \text{ м}/\text{с}^2$, $U_{x0} = 0,5 \text{ м/с}$, $L_{pl} = 20 \text{ мм}$, $T_a = 308 \text{ К}$

сительно невелико (например, $L_{pl} = 30 \div 40 \text{ мм}$ при $T_p = 1250 \div 1400 \text{ К}$), этот механизм достаточно трудно зафиксировать в случае возникновения пожара. Однако высокая вероятность реализации этого механизма является основанием для вывода о том, что зажигание может происходить при движении проволочки, стержня и нагретой частицы параллельно поверхности испарения пожароопасных жидкостей, например при пролете частицы, образующейся при раздувании источников открытого огня, над поверхностью разлитого и испаряющегося бензина. Аналогичные условия зажигания могут возникать и при открытых горловинах емкостей с бензином, керосином и другими пожароопасными жидкостями самого различного назначения, даже если частица, проволочка и стержень не попадают непосредственно в отверстие емкости.

Особый интерес представляют условия зажигания таких сложных гетерогенных систем, как ткани, пропитанные жидкими горючими и легковоспламеняющимися веществами. На базе группы моделей тепломассопереноса проанализированы макроскопические закономерности процессов зажигания в системе *разогретая до высоких температур металлическая частица – ткань, пропитанная жидким топливом – окислитель* [40, 41]. Исследования были выполнены для нескольких видов топлив и материалов тканей. При этом были установлены [40, 41] зависимости времени задержки зажигания смеси паров жидкого топлива и окислителя от объемной доли жидкого горючего вещества ϕ в ткани и начальной температуры частицы T_p (рис. 15). Из рисунка видно резкое увеличение значений t_d при уменьшении параметров T_p и ϕ . В этом случае частица при остывании отдает тепло гетерогенной системе жидкость – ткань, которая содержит недостаточную для воспламенения массу горючего. При таких

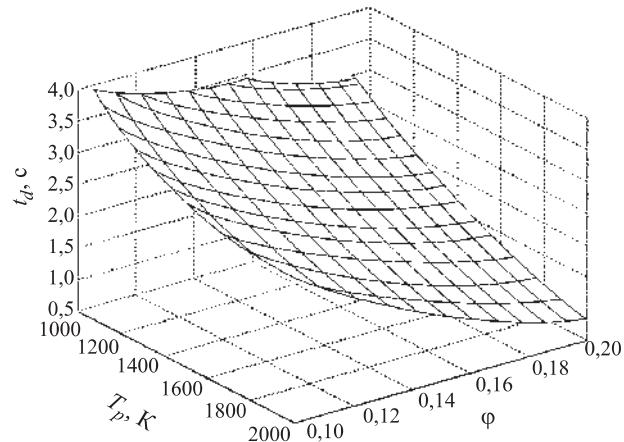


Рис. 15. Зависимость времени задержки зажигания от температуры источника нагрева и объемной доли жидкости ϕ в ткани в системе *стальная частица – шерстяная ткань, пропитанная бензином – воздух*

условиях низка вероятность возгорания, но при увеличении значений T_p и φ риск воспламенения возрастает. Приведенная на рис. 15 поверхность является границей [40, 41], разделяющей области реализации воспламенения (под поверхностью) и его отсутствия (над поверхностью).

Довольно часто резка и сварка металлов на технологических объектах выполняются в непосредственной близости от двигателей различных механизмов, строительной техники и транспортных средств. В этих случаях куски тканей, полностью или частично пропитанные бензином, керосином, дизельным топливом, трансформаторным маслом или другими пожароопасными жидкостями, используются для очистки загрязненных участков свариваемых конструкций, поверхностей двигателей транспортных средств и строительной техники от горюче-смазочных материалов. И несмотря на то что при выполнении ремонтных и строительных работ большое внимание уделяется технике безопасности, возможность возгорания пропитанной пожароопасной жидкостью ткани или смеси паров этой жидкости с окислителем высока. Это обусловлено тем, что в нормативных документах подобные ситуации не предусмотрены и не описаны из-за отсутствия соответствующих результатов теоретических и экспериментальных исследований. К тому же можно предположить, что при определенных условиях существенную роль в возгорании играет не только окисление смеси паров жидкого горючего вещества с окислителем, но и тление непосредственно материала ткани.

Зажигание смесей паров жидкых горючих веществ и окислителя сфокусированным потоком излучения

Моделирование процессов зажигания смесей паров типичных жидкых топлив сфокусированным потоком солнечного излучения [42–47] выполнено с применением схемы, приведенной на рис. 1, г. Численно исследованы условия нагрева жидкостей сфокусированными потоками излучения с характерными плотностями, близкими к максимальным концентрированным потокам солнечного излучения и минимальным для промышленных лазеров. Максимальная плотность солнечного излучения составляет $1,4 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Согласно памяткам пожарных служб для населения стеклянные сосуды (бутилки, банки и т. д.), электрические лампы накаливания, линзы фотоаппаратов, кинескопы телевизоров, капли смолы могут фокусировать потоки солнечного излучения, тем самым усиливая его в десятки и сотни раз. На практике сфокусированные солнечные потоки излучения могут иметь плотности порядка десятков и сотен $\text{kВт}/\text{м}^2$, поэтому при моделирова-

нии плотность излучения H_l принималась в диапазоне от 100 до $900 \text{ кВт}/\text{м}^2$ [42–47].

Зависимость времени задержки зажигания от плотности потока излучения (рис. 16) для моделей с учетом поглощения излучения в газовой фазе (кривая 1) и без учета его (кривая 2) показывает, что времена задержки зажигания керосина меняются на несколько порядков при увеличении плотности H_l . Это обусловлено тем, что при повышении мощности излучения P и неизменном радиусе зоны его действия R_1 возрастает плотность H_l и увеличивается доля энергии, подводимой к жидкому топливу [42–47]. Так как плотность потока излучения максимальна на оси симметрии потока ($r = 0$), на этом участке с повышением плотности излучения H_l значительно возрастает доля теплоты, расходуемой на прогрев и испарение жидкости. Из-за ограниченных размеров зоны действия излучения большая часть его энергии расходуется на разогрев небольшой площади поверхности жидкости. Это приводит к ускорению процесса испарения и увеличению количества паров, вдуваемых в воздух с поверхности жидкого вещества. Чем меньше площадь зоны действия излучения и больше его мощность, тем быстрее происходит прогрев и испарение жидкого топлива. При увеличении площади зоны действия излучения сокращаются масштабы влияния мощности на инерционность процессов тепломассопереноса. Аналогичным образом уменьшается степень влияния площади зоны действия излучения на время задержки зажигания при больших значениях его мощности.

При поглощении энергии излучения формирующейся вблизи поверхности жидкого топлива парогазовой смесью инерционность процессов тепломассопереноса возрастает (см. рис. 16). Это обусловлено уменьшением доли энергии, подводимой к жидкому топливу и, как следствие, понижением массовой скорости испарения горючего вещества [42–47]. Скорость вдува паров горючего в газовую fazu снижается. При поглощении энергии излуче-

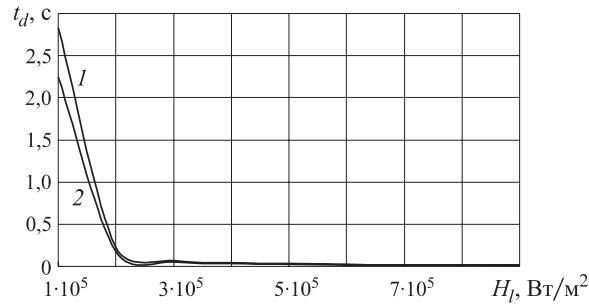


Рис. 16. Зависимость времени задержки зажигания смеси паров керосина с окислителем от плотности потока излучения в моделях с поглощением излучения в газовой фазе (1) и без учета его (2)

ния пары разогреваются. Однако их количества недостаточно для зажигания, поэтому возрастает инерционность процесса.

Если энергия излучения в газовой фазе не поглощается, то механизм зажигания несколько меняется [42–47]. Жидкое топливо интенсивно испаряется за счет энергии непрерывно действующего потока излучения, причем массовая скорость испарения изменяется незначительно. Пары горючего вдуваются в газовую fazу также непрерывно и вступают в реакцию с окислителем, но не подогреваются дополнительно за счет поглощения энергии излучения. Зажигание происходит при превышении критических концентраций компонентов смеси в условиях относительно невысоких температур.

Для анализа критических условий зажигания потоком излучения пленки жидкого конденсированного вещества при испарении последнего можно использовать параметр χ [42–47]:

$$\chi = P / (Q_e W_e \pi R_1^2),$$

где P — мощность потока излучения, Вт;

Q_e — тепловой эффект фазового перехода при испарении жидкости, кДж/кг;

W_e — массовая скорость испарения жидкого вещества, кг/(м²·с);

R_1 — радиус зоны действия потока излучения, м.

Параметр χ характеризует отношение энергии, подведенной к пленке жидкости в зоне действия излучения, и энергии, затраченной на испарение жидкого вещества на этом участке. Следует отметить, что в зависимости от мощности излучения P меняется доля энергии, подводимой к жидкости. Поэтому массовая скорость испарения вещества W_e непостоянна. При вычислении параметра χ учитывались значения W_e , характерные для соответствующих мощностей P , в момент воспламенения на оси симметрии зоны действия потока ($r = 0, z = Z_1$). Зависимость времени задержки зажигания от параметра χ [42–47] показывает (рис. 17), что для реализации условий воспламенения в системе *пленка жидкого топлива – поток излучения – парогазовая смесь* при выбранных параметрах процесса энергетический запас источника энергии должен более чем в восемь раз превышать долю энергии, поглощаемой при испарении жидкости ($\chi_{lim} = 8$).

Кроме того, установлено влияние распределения плотности энергии концентрированного потока излучения на условия реализации физико-химических превращений [42–47]. На рис. 18 приведены зависимости времени задержки зажигания парогазовой смеси потоками с переменной плотностью по радиусу (максимальное значение в центре потока) и постоянной плотностью H_l . Как видно из рис. 18, распределение плотности энергии потока на грани-

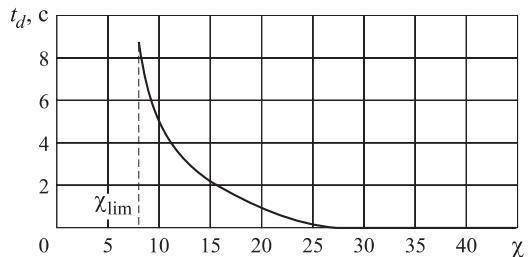


Рис. 17. Зависимость времени задержки зажигания смеси паров керосина сфокусированным потоком излучения от параметра χ

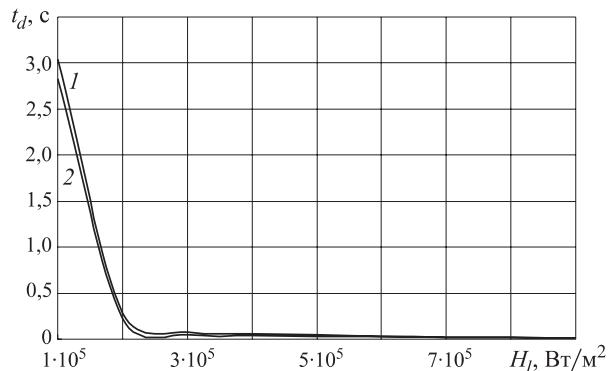


Рис. 18. Зависимость времени задержки зажигания смеси паров керосина сфокусированным потоком излучения при переменной по сечению плотности потока излучения (1) и постоянной плотности (2)

це раздела сред заметно влияет на времена задержки зажигания только при относительно небольших плотностях энергии излучения ($H_l < 3 \cdot 10^5$ Вт/м²). При плотности же энергии более $4 \cdot 10^5$ Вт/м² фактор распределения мощности излучения практически незначителен. Полученные зависимости объясняются тем, что при постоянной плотности теплового потока по радиусу к жидкости подводится больше тепла [45–47], что вызывает более интенсивное испарение бензина и повышение концентрации паров горючего в среде окислителя. Однако при увеличении мощности излучения влияние постоянной плотности H_l по радиусу уменьшается, поскольку энергии в центре потока излучения достаточно для разогрева и последующего зажигания жидкости практически за тот же интервал времени, что и при постоянной плотности энергии по радиусу.

Зажигание одиночных капель жидкых горючих веществ на нагретых подложках

Макроскопические закономерности зажигания жидких топлив, как правило, анализируются на базе кинетических моделей зажигания их капель [64]. Представляет интерес исследование правомерности такого подхода. Созданы физико-математические модели для описания процессов тепломассоперен-

носа в системе капля жидкого горючего вещества – разогретая подложка – окислитель [48, 49] и выполнено их сопоставление с данными кинетического моделирования [64]. Для максимального приближения моделей [48, 49] к реальным условиям учтены процессы деформации капель при соударении с подложкой и растекания в условиях фазового перехода (см. рис. 1, д).

Отклонения вычисленных в [48, 49] времен задержки зажигания от определенных в [64] в выбранном диапазоне изменения температуры подложки T_s не превышают 25 % (рис. 19). При повышении температуры подложки T_s от 950 до 1050 К эти отклонения уменьшаются до 3 %. Полученный результат позволяет сделать вывод о хорошем соответствии значений t_d , приведенных в [48, 49] и [64].

При $T_p = T_s = 1000$ К значения t_d для процессов зажигания капли керосина массивным нагретым телом и частицей с ограниченным энергетическим запасом значительно различаются [48, 49]. Так, при зажигании капли керосина в системе со стальной подложкой t_d равно 0,053 с, а стальной частицей — 0,915 с. Масштабное отличие времен задержки зажигания в этом случае обусловлено тем, что при наличии массивного нагретого тела энергии достаточно для прогрева капли топлива, испарения горючего и разогрева формирующейся парогазовой смеси за относительно небольшой интервал времени ($t_d = 0,053$ с) [48, 49]. В случае, когда источником зажигания является разогретая частица малых размеров, вследствие ограниченного запаса энергии скорости прогрева жидкости, ее испарения, а также разогрева парогазовой смеси снижаются и, как следствие, время задержки зажигания возрастает. Лишь при $T_p = 1420$ К и остальных адекватных условиях процесса зажигания керосина одиночной стальной частицей $t_d = 0,053$ с. При этом время задержки зажигания в системе со стальной подложкой ни при каких условиях не достигает 0,915 с. Зажигание капель керосина при изменении температуры подложки в диапазоне $900 < T_s < 1500$ К происходит при значениях t_d , не превышающих 0,25 с.

Установлено [48, 49], что времена задержки зажигания капли существенно зависят от скорости ее растекания (рис. 20). Выявленные зависимости позволяют сделать вывод, что реализация условий воспламенения капли определяется достаточно сложным совместным влиянием теплосодержания металлической подложки и динамики растекания капли. С ростом скорости растекания капли инерционность процесса зажигания повышается. При деформации и растекании капли жидкости по нагретой поверхности радиус контактного пятна и площадь испарения растут. Однако одновременно с этим увеличивается и площадь капли, которая “блокирует”

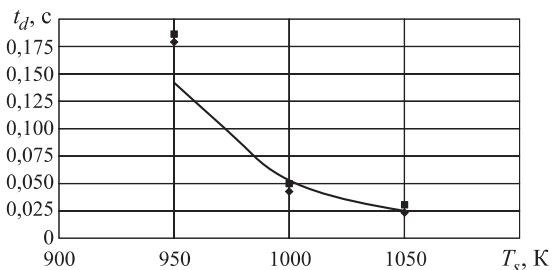


Рис. 19. Зависимость времени задержки зажигания капли керосина радиусом $R_d = 2$ мм от температуры стальной подложки: ◆ — экспериментальные значения A. J. Dean [64]; ■ — экспериментальные значения D. F. Davidson [64]; — — теоретические значения [48, 49]

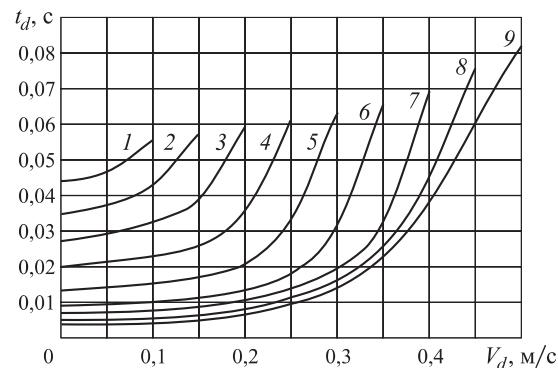


Рис. 20. Зависимость времен задержки зажигания капли керосина радиусом $R_d = 2$ мм от начальной скорости растекания капли V_d при различных температурах подложки T_s : 1 — 700 К; 2 — 800 К; 3 — 900 К; 4 — 1000 К; 5 — 1100 К; 6 — 1200 К; 7 — 1300 К; 8 — 1400 К; 9 — 1500 К

выход паров горючего. При малых скоростях растекания и высоких температурах подложки скорость выхода паров горючего превышает гидродинамические скорости течения слоев капли. Разогретые пары горючего вступают в химическую реакцию с окислителем, которая ускоряется при достижении критических температур и концентраций. При высоких скоростях растекания ($V_d > 0,25$ м/с) слои капли “закрывают” площадь испарения, и формирующиеся пары горючего создают контуры завихрений вблизи основания капли. Лишь малая доля этих паров выходит в газовую fazу и вступает в химическую реакцию с окислителем. При снижении скорости вдува паров горючего в парогазовую смесь повышается инерционность процессов тепломассопереноса [48, 49].

Следует подчеркнуть, что даже при высоких скоростях растекания ($V_d > 0,35$ м/с) зажигание происходит (см. рис. 20). Однако условия воспламенения реализуются только при $T_s > 1400$ К и характеризуются относительно большими временами задержки зажигания ($t_d > 0,07$ с). При высоких температурах подложки ($T_s > 1400$ К) зависимость вре-

мен задержки зажигания t_d от скорости растекания, которая варьируется в диапазоне $0 \leq V_d \leq 0,15$ м/с, практически линейная (время задержки зажигания изменяется в пределах 1 %). Этот результат показывает, что существуют такие режимы зажигания капли [48, 49], при которых доминирующую роль играет температура источника, а влияние других факторов незначительно.

Кроме того, выявлены зависимости времен задержки зажигания одиночной капли жидкого топлива на разогретой подложке от температуры и размеров капли, а также от внешних условий (температура и влажность воздуха) [48, 49].

Выполненные численные исследования [6–51] позволили выработать рекомендации для обеспечения пожарной безопасности различных технологических процессов с возможным образованием локальных источников нагрева (резка, сварка, трение, шлифование металлов и т. д.) в непосредственной близости от участков хранения, транспортирования, перегрузки и переработки горючих и легковоспламеняющихся жидкостей:

- 1) проводить огневые работы при минимально возможных температурах функционирования сварочных аппаратов;
- 2) использовать закрытые сосуды для хранения жидких горючих и легковоспламеняющихся веществ, что позволит предотвратить возможность испарения жидкостей в комнатных условиях и формирование пожароопасных парогазовых смесей;
- 3) установить в помещении минимальную температуру и максимальную влажность воздуха, при которых возможно хранение горючих и легковоспламеняющихся жидкостей;
- 4) организовать принудительную вентиляцию помещения (скорость воздушных потоков не менее 2 м/с) перед началом работ;
- 5) обеспечить достаточную удаленность сварочных электродов и других аппаратов от резервуаров и участков перегрузки жидкостей (минимальное расстояние, при прохождении которого формирующиеся источники энергии — металлические частицы, проволочки или стержни остаются до “безопасных” температур [6–51]);
- 6) устраниить посторонние предметы (например, ткани, пропитанные смазочными, горючими и легковоспламеняющимися веществами) с рабочих участков.

Разработанная по результатам численных исследований [6–51] общая теория тепломассопереноса при зажигании жидких конденсированных веществ и парогазовых смесей типичными локальными источниками энергии обладает большим

прогностическим потенциалом. Так, например, задачи газофазного зажигания твердых конденсированных веществ (в частности, композиционных и полимерных материалов) могут быть решены с использованием математического аппарата [6–51]. При этом задача о зажигании, например, термопластичного полимерного аморфного материала будет существенно проще по постановке и процедуре решения по сравнению с задачами о зажигании горючей жидкости нагретой до высоких температур частицей, проволочкой или стержнем. Скорости процессов термического разложения и сублимации полимеров много меньше скоростей испарения горючих и пожароопасных жидкостей при идентичных условиях нагрева. Соответственно, и интенсивность всех процессов тепломассопереноса будет у полимеров ниже, чем у жидкости. В итоге градиенты температур и скорости их изменения в области решения будут также существенно ниже, что повлечет за собой упрощение методов и алгоритмов решения задач зажигания твердых конденсированных веществ локальными источниками. Решение задач зажигания полимеров в рассматриваемых условиях будет упрощено еще и потому, что процесс термического разложения полимерных материалов протекает не на поверхности, как испарение жидкости, а в небольшой по размерам зоне, соответствующей перепаду температур 400–800 К. Этот фактор значительно упрощает алгоритм вычислений, потому что становится возможным использование более крупных шагов разностной сетки по пространственным и временной координатам. Аналогичные задачи зажигания могут быть решены и для природных веществ (древесина, уголь, торф и др.). В этом случае математический аппарат [6–51] является достаточным для моделирования процессов газофазного зажигания любых природных веществ.

Наиболее сложным для численного моделирования из всех возможных вариантов, скорее всего, является зажигание кристаллических полимерных материалов, плавящихся при высокотемпературном нагреве, а затем проходящих стадию термического разложения. Но и в этом случае задача, по существу, сводится к решению систем уравнений [6–51] (с соответствующими краевыми условиями) в зависимости от формы источника нагрева и условий его взаимодействия с горючим материалом. Можно утверждать, что и для этой группы пожароопасных материалов разработаны теоретические основы анализа условий зажигания при локальном нагреве.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-330.2010.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин Н. И., Булхов Н. Н., Гериш В. А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 10. — С. 53–55.
2. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М. : Пожнаука, 2007. — 268 с.
3. Романенков И. Г., Левитес Ф. А. Огнезащита строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1991. — 320 с.
4. Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. — М. : Машиностроение, 1970. — 408 с.
5. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. — М. : Машиностроение, 1973. — 443 с.
6. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Математическое моделирование зажигания жидкого горючего вещества нагретой до высоких температур частицей // Известия вузов. Физика. — 2007. — № 9/2. — С. 103–112.
7. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Моделирование воспламенения жидкого вещества горячей частицей // Химическая физика. — 2009. — № 5. — С. 90–97.
8. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной “горячей” частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 6. — С. 13–20.
9. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single “hot” particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2008. — No. 3. — P. 244–252.
10. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание накаленной одиночной частицей жидких углеводородных топлив // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — № 4. — С. 5–9.
11. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Нагретые до высоких температур частицы металла, как источники локальных возгораний жидких веществ // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 72–76.
12. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние фазового состояния частиц металлов на условия зажигания пожароопасных жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 17–21.
13. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle – liquid fuel interface on the ignition characteristics // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — No. 2. — P. 162–167.
14. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. 3D problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by a heated metal particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — No. 1. — P. 72–79.
15. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. О возможности использования одномерной модели при численном анализе процесса зажигания жидкого конденсированного вещества одиночной нагретой частицей // Физика горения и взрыва. — 2010. — № 6. — С. 78–85.
16. Стрижак П. А. Упрощенная постановка задачи зажигания горючих и легковоспламеняющихся жидкостей источником ограниченной энергоемкости // Пожарная безопасность. — 2011. — № 3. — С. 44–49.
17. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание пленки дизельного топлива частицей расплавленного металла в форме полусфера // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 3. — С. 39–43.
18. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” частицей // Физика горения и взрыва. — 2009. — № 5. — С. 42–50.
19. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние формы разогретой металлической частицы на характеристики процесса зажигания горячей жидкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 6. — С. 20–24.
20. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние формы нагретой до высоких температур частицы на газофазное зажигание пленки жидкого конденсированного вещества // Химическая физика. — 2010. — № 2. — С. 249–255.
21. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. On peculiarities of heat and mass transfer in a hot metal particle – liquid fuel condensed substance – air system // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — No. 3. — P. 241–248.
22. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Оценка пожарной опасности процессов взаимодействия разогретых частиц с пленками горючих жидкостей на химических производствах // Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 10. — С. 54–58.

23. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности зажигания пленки жидкого топлива двумя разогретыми до высоких температур металлическими частицами // Пожарная безопасность. — 2009. — № 2. — С. 60–64.
24. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. On the scale of “simultaneous” influence of several “hot” particles on the conditions of heat and mass transfer at ignition of liquid condensed substance // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — No. 4. — P. 263–270.
25. Стрижак П. А. Анализ условий и характеристик пожароопасных процессов зажигания пленок жидкых нефтепродуктов нагретыми до высоких температур металлическими частицами // Известия Самарского научного центра РАН. — 2009. — № 9. — С. 236–240.
26. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние скоростей воздушных масс на характеристики зажигания пленок горючих жидкостей разогретыми частицами // Пожарная безопасность. — 2009. — № 3. — С. 96–100.
27. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Газофазное зажигание пленки жидкого конденсированного вещества нагретой до высоких температур металлической частицей в условиях смешанной конвекции // Инженерно-физический журнал. — 2009. — № 6. — С. 1052–1058.
28. Кузнецов Г. В., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Прогностический анализ пожарной опасности возгораний жидких топлив при проведении ремонтных работ на тепловых электрических станциях // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 12. — С. 32–36.
29. Strizhak P. A. Numerical estimation of the influence of natural convection in liquid on the conditions of ignition by a local heat source // Journal of Engineering Thermophysics. — 2011. — № 2. — Р. 211–216.
30. Стрижак П. А. Численный анализ влияния выгорания жидкого топлива на характеристики его зажигания источником ограниченной энергоемкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 12. — С. 4–8.
31. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Моделирование зажигания жидкого топлива локальным источником нагрева в условиях выгорания жидкости // Химическая физика. — 2011. — № 8. — С. 62–67.
32. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of radiation heat exchange on characteristics of liquid fuel ignition by a heated metal particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2010. — No. 1. — Р. 1–8.
33. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численный анализ вероятности возгорания мазута на тепловых электрических станциях // Энергобезопасность и энергосбережение. — 2009. — № 6. — С. 7–12.
34. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности газофазного зажигания смеси паров керосина с воздухом нагретой до высоких температур стальной проволочкой // Инженерно-физический журнал. — 2009. — № 6. — С. 1046–1051.
35. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Особенности зажигания парогазовой смеси нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 25–33.
36. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Пожарная опасность формирования разогретых до высоких температур частиц металлов в непосредственной близости от участков испарения горючих жидкостей // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 67–71.
37. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2010. — Vol. 53. — Р. 923–930.
38. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование процесса зажигания парогазовой смеси движущейся разогретой металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 7–14.
39. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание парогазовой смеси движущимся источником нагрева малых размеров // Химическая физика. — 2010. — № 2. — С. 29–37.
40. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Пожароопасность процессов взаимодействия разогретых до высоких температур частиц с тканями, пропитанными горючими жидкостями // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 16–22.
41. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при зажигании горячей частицей паров жидкого топлива, поступающих в воздух с поверхности пропитанной им ткани // Инженерно-физический журнал. — 2009. — № 3. — С. 454–460.
42. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание жидкого топлива сфокусированным потоком светового излучения // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 3. — С. 9–13.

43. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical analysis of heat-mass transfer mechanisms in gas-phase ignition of films of liquid condensed substances by a laser beam // Journal of Engineering Thermophysics. — 2010. — №. 2. — Р. 85–93.
44. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное моделирование лазерного зажигания пленки жидкого топлива // Химическая физика. — 2010. — № 8. — С. 60–66.
45. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное моделирование особенностей тепломассопереноса при зажигании жидкого конденсированного вещества лазером // Тепловые процессы в технике. — 2011. — № 3. — С. 113–117.
46. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при локальном нагреве и зажигании жидкого топлива сфокусированным потоком излучения // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — № 4. — С. 29–33.
47. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical solution of the plane heat-mass transfer problem in a system of *focused radiation flux – liquid condensed substance film – oxidizer* // Journal of Engineering Thermophysics. — 2011. — №. 1. — Р. 34–41.
48. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Определение кинетики зажигания типичных жидкых топлив источниками нагрева с конечным запасом энергии // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 7. — С. 35–40.
49. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of liquid fuel droplet spreading on the hot surface // Journal of Engineering Thermophysics. — 2010. — №. 2. — Р. 75–84.
50. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Зажигание конденсированных веществ при локальном нагреве. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. — 269 с.
51. Стрижак П. А. Тепломассоперенос при зажигании жидких конденсированных веществ и парогазовых смесей локальными источниками энергии: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — Томск, 2011. — 393 с.
52. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание жидкого пожароопасного вещества одиночной "горячей" металлической частицей // Известия вузов. Физика. — 2007. — № 9/2. — С. 90–95.
53. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной "горячей" металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
54. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. О механизме зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
55. Захаревич А. В., Кузнецов Г. В., Максимов В. И., Панин В. Ф., Равдин Д. С. Оценка пожарной опасности мазута в условиях перегрузки, хранения и транспорта на тепловых электрических станциях // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — № 3. — С. 30–33.
56. Захаревич А. В. Зажигание твердых и жидкых конденсированных веществ одиночными нагретыми до высоких температур частицами : дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Томск, 2008. — 117 с.
57. Vilyupov V. N., Zarko V. E. Ignition of Solids. — Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1989. — 442 р.
58. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — 616 с.
59. Коздoba Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. — М. : Наука, 1975. — 227 с.
60. Щетников Е. С. Физика горения газов. — М. : Наука, 1965. — 739 с.
61. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Пожнauка, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
62. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО "Старс", 2006. — 720 с.
63. Теплотехнический справочник / В. Н. Юрнева, П. Д. Лебедева. — М : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
64. Dagaut P., Cathonnet M. The ignition, oxidation, and combustion of kerosene: a review of experimental and kinetic modeling // Progress in Energy and Combustion Science. — 2006. — Vol. 32. — Р. 48–92.

Материал поступил в редакцию 26 сентября 2011 г.

Электронный адрес автора: pavelspa@tpu.ru

ПОЖИЗНАУКА Издательство

А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко
“СРЕДСТВА ОГНЕ- И БИОЗАЩИТЫ”

Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.



В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вслучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.

**Внимание!!!
Распространяется
БЕСПЛАТНО!!!**

www.firepress.ru

По вопросам оформления заявки на бесплатное получение справочника просьба обращаться по тел.: (495) 228-09-03 (многоканальный) или по e-mail: mail@firepress.ru

**Г. В. Кузнецов**

д-р физ.-мат. наук, профессор
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
г. Томск, Россия

**Н. В. Барановский**

канд. физ.-мат. наук, старший
преподаватель, докторант Национального
исследовательского Томского политехни-
ческого университета, г. Томск, Россия

УДК 533.6

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ КОМПОНЕНТА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПО НЕУСТАНОВЛЕННЫМ ПРИЧИНAM*

Представлена математическая модель зажигания слоя лесного горючего материала (ЛГМ) сфокусированным потоком солнечного излучения. Рассмотрена плоская постановка задачи в декартовой системе координат. Установлены условия зажигания слоя ЛГМ в зависимости от интенсивности излучения. Выделены методологические вопросы прогноза лесной пожарной опасности по неустановленным причинам.

Ключевые слова: зажигание; лесной горючий материал; химическая реакция; стекло; сфокусированное солнечное излучение; прогноз.

Введение

Как известно [1], лесные пожары наносят масштабный экологический и экономический ущерб, а также приводят к гибели людей и разрушению населенных пунктов. В связи с этим можно выделить три основные задачи теории лесных пожаров: прогноз лесной пожарной опасности, оценка текущей пожарной ситуации, прогноз распространения фронта низового или верхового пожара. Можно обоснованно утверждать, что решающая стадия лесного пожара — это процесс возгорания ЛГМ, который условно во времени можно разделить на две стадии: сушки и непосредственного зажигания ЛГМ природным или антропогенным источником. В катастрофических погодных условиях процессы испарения влаги можно не рассматривать, и в этом случае лесная пожарная опасность целиком ограничивается стадией зажигания ЛГМ.

В статистике значительная доля лесных пожаров возникает по неустановленным причинам [2]. В последнее время разработан вероятностный критерий оценки лесной пожарной опасности с учетом природных, антропогенных и неустановленных при-

чин [3]. На основании анализа статистической информации можно считать, что значительная доля возгораний по неустановленным причинам может быть обусловлена воздействием на ЛГМ потоков сфокусированного солнечного излучения.

Цель исследования — численное моделирование зажигания слоя ЛГМ в результате воздействия сфокусированного потока солнечного излучения и разработка рекомендаций по созданию подсистемы оценки лесной пожарной опасности по неустановленным причинам.

Постановка задачи

Рассматривается рыхлый и пористый слой ЛГМ [4]. Одна из задач исследования — оценка влияния пористой структуры слоя ЛГМ и проникновения излучения в глубь слоя на процессы тепломассопереноса, предшествующие зажиганию. Согласно [5] предполагается, что проникновение излучения в слой происходит по закону Бугера–Ламберта–Бера. Там же приведены экспериментально определенные коэффициенты ослабления, в том числе для слоя хвои. Математическая модель зажигания пористого слоя ЛГМ формулируется с учетом проникновения излучения в слой. Объемная доля сухого органического вещества в реальном слое ЛГМ меняется в пределах $0,03 < \phi_1 < 0,06$ [5]. Предполагается, что на слой ЛГМ локально действует поток сфокусированного солнечного излучения. В результате этого

* Авторы благодарят д-ра физ.-мат. наук, проф., заведующего лабораторией Института теплофизики СО РАН В. С. Бердинкова за предоставленную информацию о реальных примерах возгорания ЛГМ под действием сфокусированного стеклянными емкостями и каплями смолы солнечного излучения.

воздействия слой ЛГМ прогревается и термически разлагается с образованием газообразных и твердых продуктов пиролиза. Состав газообразной части продуктов пиролиза принимается однокомпонентным. В качестве эффективного горючего принимается моноксид углерода. Согласно [6] в состав продуктов пиролиза могут также входить и другие газы, например водород и метан. Однако их доля от общего объема мала по сравнению с долей моноксида углерода, которая при пиролизе ЛГМ при температуре 573 К составляет 40,7 % [7]. При более высоких температурах содержание этого горючего газа также значительно. В связи с этим возможно описание кинетики окисления газообразных продуктов пиролиза одной брутто-реакцией: $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$.

Принята следующая физическая модель процесса. Состав газовой смеси в области над ЛГМ принимается трехкомпонентным (горючее — моноксид углерода; окислитель — кислород; инертные компоненты). Газообразные продукты пиролиза дифундируют в область газовой смеси. При определенных температуре и концентрациях реагирующих газов происходит зажигание смеси. Приняты следующие критерии зажигания: 1) теплоприход от химической реакции превышает тепловой поток от нагретой поверхности в область газовой смеси; 2) температура в газовой смеси достигает критического значения. На рис. 1 представлена геометрия области решения.

Процесс зажигания слоя ЛГМ сфокусированным потоком солнечного излучения описывается системой двумерных нестационарных нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии (1)–(2), (12), (18) с соответствующими начальными и граничными условиями. Численная реализация проведена с использованием локально-одномерного конечно-разностного метода [8]. Разностные аналоги одномерных уравнений теплопроводности и диффузии решены методом прогонки в сочетании с методом простой итерации [9].

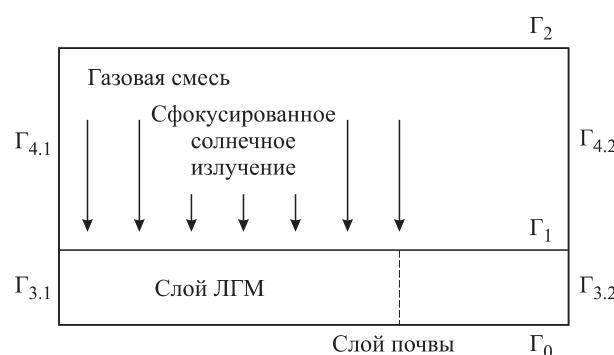


Рис. 1. Геометрия области решения: Г — границы областей решения и слоев

Уравнение энергии для слоя ЛГМ:

$$\rho_{ef} c_{ef} \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_{ef} \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right) - q_p k_1 \rho_1 \varphi_1 \times \\ \times \exp \left(-\frac{E_1}{RT_1} \right) + (1 - \varphi_1) q_s \exp (-k_r \rho_{ef} z). \quad (1)$$

Уравнение энергии для газовой смеси:

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right) + q_5 (1 - v_5) R_5. \quad (2)$$

Границные условия для уравнений (1)–(2):

$$\Gamma_0: \quad \alpha_1 (T - T_{es}) = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}; \quad (3)$$

$$\Gamma_1: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} + \varphi_1 q_s, \quad T_1 = T_2; \quad (4)$$

$$\Gamma_2: \quad \alpha_2 (T_{ea} - T) = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}; \quad (5)$$

$$\Gamma_{3,1}: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = 0; \quad (6)$$

$$\Gamma_{3,2}: \quad T_1 = T_{1s}; \quad (7)$$

$$\Gamma_{4,1}: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0; \quad (8)$$

$$\Gamma_{4,2}: \quad \alpha_2 (T_{ea} - T) = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x}. \quad (9)$$

Начальные условия для уравнений (1)–(2):

$$T_i|_{t=0} = T_{i0}, \quad i = 1, 2. \quad (10)$$

Кинетическое уравнение и начальное условие:

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp \left(-\frac{E_1}{RT_1} \right); \\ \varphi_1|_{t=0} = \varphi_{10}; \quad \sum_{i=1}^2 \varphi_i = 1. \quad (11)$$

Уравнение диффузии для окислителя:

$$\frac{\partial C_4}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_4}{\partial z^2} \right) - \frac{M_4}{M_5} R_5. \quad (12)$$

Границные условия для уравнения (12):

$$\Gamma_1: \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial z} = 0; \quad (13)$$

$$\Gamma_2: \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial z} = 0; \quad (14)$$

$$\Gamma_{4,1}: \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial x} = 0; \quad (15)$$

$$\Gamma_{4,2}: \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial x} = 0. \quad (16)$$

Начальные условия для уравнения (12):

$$C_4|_{t=0} = C_{4,0}. \quad (17)$$

Уравнение диффузии для горючих компонентов пиролиза:

$$\frac{\partial C_5}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C_5}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_5}{\partial z^2} \right) - R_5. \quad (18)$$

Границные условия для уравнения (18):

$$\Gamma_1: \rho D \frac{\partial C_5}{\partial z} = Y_5; \quad (19)$$

$$\Gamma_2: \rho D \frac{\partial C_5}{\partial z} = 0; \quad (20)$$

$$\Gamma_{4.1}: \rho D \frac{\partial C_5}{\partial x} = 0; \quad (21)$$

$$\Gamma_{4.2}: \rho D \frac{\partial C_5}{\partial x} = 0. \quad (22)$$

Начальные условия для уравнения (18):

$$C_5|_{t=0} = C_{5,0}. \quad (23)$$

Уравнение баланса массы:

$$\sum_{i=4}^6 C_i = 1. \quad (24)$$

Начальные условия для уравнения (24):

$$C_6|_{t=0} = C_{6,0}. \quad (25)$$

Выражение для массовой скорости реакции R_5 [10]:

$$R_5 = k_5 M_5 T^{-2,25} \exp \left(-\frac{E_5}{RT_1} \right) \times \\ \times \begin{cases} x_1^{0,25} x_2, & x_1 > 0,05, \\ x_1 x_2, & x_1 \leq 0,05; \end{cases} \quad (26)$$

$$x_i = \frac{C_i}{\sum_{k=4}^6 M_k M_i}. \quad (27)$$

Здесь T_i , ρ_i , c_i , λ_i — температура, плотность, теплопроводность (1 — слоя ЛГМ, 2 — воздуха); C_i , M_i — концентрация и молярная масса (4 — окислителя, 5 — горючего газа, 6 — инертных компонентов воздуха); x , z — пространственные координаты; q_p — тепловой эффект реакции пиролиза ЛГМ; k_1 — предэкспонент реакции пиролиза ЛГМ; ϕ_1 — объемная доля сухого органического вещества ЛГМ; E_1 — энергия активации реакции пиролиза ЛГМ; R — универсальная газовая постоянная; q_s — поток сфокусированного солнечного излучения; k_r — коэффициент ослабления; t — временная координата; q_5 — тепловой эффект реакции окисления оксида углерода; v_5 — доля теплоты, поглощенная слоем ЛГМ; R_5 — массовая скорость реакции окисления оксида углерода; α_1 — коэффициент теплопередачи; α_2 — коэффициент теплоотдачи; D — коэффи-

циент диффузии; Y_5 — поток массы горючих продуктов пиролиза; k_5 — предэкспонент реакции окисления оксида углерода; E_5 — энергия активации реакции окисления оксида углерода; x_i — вспомогательная переменная; es , ea , 0 , ef — индексы, соответствующие параметрам окружающей среды в почве, воздухе и в начальный момент времени, а также эффективным характеристикам.

При численном моделировании использованы следующие исходные данные: $\rho_1 = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho_2 = 0,1 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c_1 = 1400 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $c_2 = 1200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda_1 = 0,102 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_2 = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $q_p = 1000 \text{ Дж}/\text{кг}$; $k_1 = 3,63 \cdot 10^4$; $E_1/R = 9400 \text{ К}$; $\phi_{1,0} = 1$; $q_5 = 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$; $k_5 = 3 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; $E_5/R = 11500 \text{ К}$; $v_5 = 0,3$; $\alpha_1 = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $\alpha_2 = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $D = 10^{-6}$; $M_4 = 0,032$; $M_5 = 0,028$; $M_6 = 0,044$; $k_r = 5,1 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Результаты и обсуждение

В таблице представлены значения времени задержки воспламенения, а также известные экспериментальные данные [11]. Их сравнение показывает, что прохождение солнечного излучения через природный или антропогенный концентратор с 10-кратным усилением интенсивности естественного излучения [12] может привести к возникновению лесного пожара.

Среднее отклонение результатов численного моделирования от экспериментальных данных [11] составило не более 40 %. Проведены численные исследования по определению времени задержки воспламенения ЛГМ с использованием двумерной модели тепломассопереноса в предположении отсутствия пор и, соответственно, переноса энергии за счет излучения в слое ЛГМ при прочих равных условиях. Получены зависимости t_{ign} , которые характерны и для одномерных моделей. При тепловом потоке q_s от 30 $\text{kВт}/\text{м}^2$ и выше значения времени задержки воспламенения несколько больше экспериментальных. Полученные значения t_{ign} можно считать удов-

ремена задержки воспламенения слоя ЛГМ сфокусированным солнечным излучением

Тепловой поток q_s , $\text{kВт}/\text{м}^2$	Время задержки воспламенения t_{ign} , с		
	Расчет двумерной модели		Эксперимент [11]
	при наличии пор	без пор	
15	144	99	Нет зажигания
20	98	62	197–207
25	64	33	93–100
30	53	26	40–42
35	46	21	27–30
40	42	18	18–26

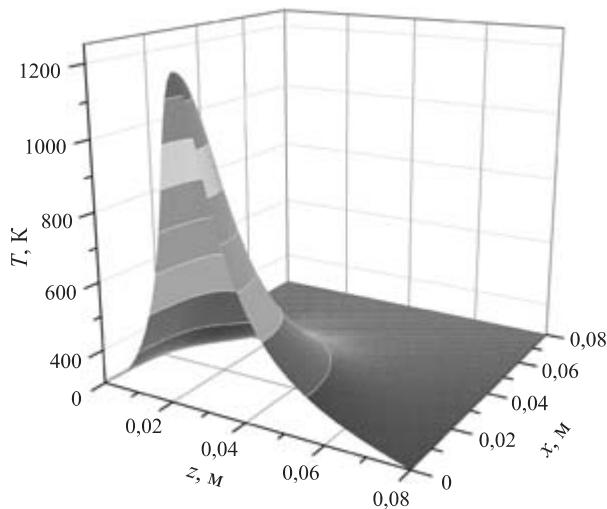


Рис. 2. Распределение температуры в системе слой ЛГМ – газовая смесь в момент зажигания при $q_s = 40 \text{ кВт/м}^2$

летворительными с точки зрения соответствия теоретических результатов экспериментальным данным.

Типичное распределение температуры в плоскости Oxz в системе слой ЛГМ – газовая смесь в момент зажигания представлено на рис. 2. Пик на температурной поверхности соответствует месту локализации химической реакции окисления моноксида углерода до диоксида углерода. Критерии зажигания выполняются в центре участка воздействия сфокусированного солнечного излучения. В отличие от модели непрозрачного слоя в случае пористого ЛГМ градиенты температур на границах области воздействия излучения не такие большие. Это объясняется, с одной стороны, тем, что слой ЛГМ имеет рыхлую структуру и излучение проникает в глубину слоя, а с другой — увеличением ширины прогрева на границе слоя ЛГМ, где действует тепловой поток. Поскольку время задержки увеличивается, то продукты пиролиза диффундируют на большее расстояние по сравнению с моделью непрозрачного слоя. Экзотермическая реакция окисления моноксида углерода кислородом воздуха протекает в более обширной области. На рис. 3 представлено распределение объемной доли сухого органического вещества в плоскости Oxz в момент зажигания. Можно также сделать вывод, что зона пиролиза ЛГМ в случае пористого слоя имеет меньшие градиенты объемной доли сухого органического вещества.

Согласно дифференцированной модели оценки пожарной опасности в лесу [3] вероятность возникновения лесного пожара по неустановленной причине $P(\text{ЛП}_i)$ определится по выражению

$$P(\text{ЛП}_i) = P(A) P(A_{j,i}/A) P(\text{ЛП}/A, A_{j,i}),$$

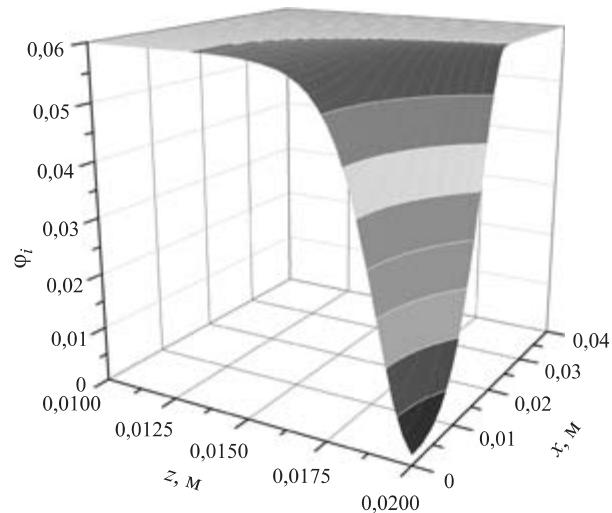


Рис. 3. Распределение объемной доли сухого органического вещества в момент зажигания при $q_s = 40 \text{ кВт/м}^2$

где $P(A)$ — вероятность антропогенной нагрузки; $P(A_{j,i}/A)$ — вероятность наличия концентратора энергии на лесной территории; $P(\text{ЛП}/A, A_{j,i}) = P(C) P(Z_{11}/C)$ — условная вероятность возникновения лесного пожара по неустановленной причине; $P(C)$ — вероятность того, что ЛГМ сухой (определяется по детерминированной модели сушки слоя ЛГМ под воздействием внешних условий [13]); $P(Z_{11}/C)$ — вероятность воспламенения ЛГМ сфокусированным источником солнечного излучения.

Для определения вероятности воспламенения в нашем случае следует использовать численное моделирование. Предлагается определять вероятность через частоту событий [14]:

$$P(Z_{11}/C) = N_{\text{ЗП}} / N_{\text{ЗИ}},$$

где $N_{\text{ЗП}}$ — число исходов численного моделирования, которые привели к зажиганию слоя ЛГМ; $N_{\text{ЗИ}}$ — общее число сценариев численного моделирования зажигания слоя ЛГМ сфокусированным потоком солнечного излучения.

Для каждого сценария входные параметры задаются с помощью генератора псевдослучайных чисел.

Выводы

В результате исследования разработана детерминированная математическая модель зажигания пористого слоя ЛГМ сфокусированным потоком солнечного излучения. Модель может быть использована в качестве компоненты в детерминированно-вероятностной методике прогноза лесной пожарной опасности по неустановленным причинам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
2. Янко И. В. Пирологическая оценка территории Томской области : дис. ... канд. геогр. наук. — Томск : Томский государственный педагогический университет, 2005. — 174 с.
3. Барановский Н. В., Кузнецов Г. В. Конкретизация неустановленных причин в детерминированно-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 24–27.
4. Курбатский Н. П. Исследование свойств и количества лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. ИЛиД СО АН СССР. — Красноярск, 1970. — С. 5–58.
5. Гришин А. М., Зима В. П., Кузнецов В. Т., Скорик А. И. Зажигание лесных горючих материалов потоком лучистой энергии // Физика горения и взрыва. — 2002. — Т. 38, № 1. — С. 30–35.
6. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.
7. Перелыгин Л. М. Древесиноведение. — М. : Наука, 1957. — 252 с.
8. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. — М. : Наука. 2001. — 320 с.
9. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — С. 33–36.
10. Гришин А. М., Шипулина О. В. Математическое моделирование распространения вершинных лесных пожаров в однородных лесных массивах и вдоль просек // Физика горения и взрыва. — 2002. — Т. 38, № 6. — С. 17–29.
11. Касперов Г. И., Гоман П. Н. Исследование пожароопасных свойств лесных горючих материалов сосновых насаждений // Тр. БГТУ. Сер. II: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. — 2010. — Вып. XVIII. — С. 337–340.
12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20 (Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край). — СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. — 718 с.
13. Гришин А. М., Барановский Н. В. Сравнительный анализ простых моделей сушки слоя ЛГМ, включая данные экспериментов и натурных наблюдений // Инженерно-физический журнал. — 2003. — Т. 76, № 5. — С. 166–169.
14. Назаров А. А., Терпугов А. Ф. Теория вероятностей и случайных процессов : учебное пособие. — Томск : Изд-во НТЛ, 2006. — 204 с.

*Материал поступил в редакцию 18 августа 2011 г.
Электронный адрес авторов: firedanger@narod.ru.*



А. Н. Лопанов

д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой Белгородского
государственного технологического универ-
ситета им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

УДК 661.541.427.6+534.222.2

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ И ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ АКТИВИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

Предложена молекулярная модель взрывных и детонационных процессов, основанная на теории активированного комплекса (переходного состояния). Показано, что разрыв связей в молекуле взрывчатого вещества происходит не одновременно, а последовательно с образованием промежуточных комплексов различной структуры. Представлены формальные схемы распада классического взрывчатого вещества 2,4,6-тринитротолуола; выполнены расчеты скоростей детонации при различных температурах на фронте детонационной волны. Установлено, что расчетная скорость детонации 2,4,6-тринитротолуола 7000–8000 м/с хорошо согласуется с экспериментальными значениями. Показано, что при температурах 4000–4500 К происходят качественные и количественные изменения механизма детонации, связанные с лимитирующими стадиями процесса. Решение системы дифференциальных уравнений кинетики процесса позволяет предсказать качественный и количественный состав продуктов взрыва.

Ключевые слова: теория активированного комплекса; модель взрывных и детонационных процессов; скорость распада 2,4,6-тринитротолуола; кинетика накопления продуктов реакции взрыва.

Введение

Одной из важных задач повышения безопасности технологии взрывов является уменьшение количества токсичных и вредных веществ, поступающих в окружающую природную среду, расчет параметров взрыва — скорости и давления на фронте детонационной волны. Так, регулирование кислородного баланса взрывчатых веществ (ВВ) приводит к снижению негативного воздействия вредных веществ на биосферу, тем не менее проблема безопасности взрывных технологий остается актуальной. Теоретические аспекты детонации рассмотрены достаточно подробно [1–5]. Считается, что классическая теория детонации позволяет выполнить так называемый “чистый расчет”, т. е. рассчитать скорость и другие кинетические параметры детонационной волны с использованием только термодинамических характеристик исходного вещества и продуктов реакции на основе законов сохранения массы, импульса и энергии [1, 6, 7]. Это положение можно считать дискуссионным по следующей причине. В уравнения термодинамики не входят такие важные параметры детонационных процессов, как время и скорость. В связи с этим модели, полученные в классической теории детонации, являются феноменологическими, так как в них входят экспериментальные характеристики процесса.

В данной работе рассмотрена модель детонации с позиции теории активированного комплекса (теории переходного состояния). В методологическом плане моделирование взрывных процессов с позиций теории переходного состояния не исследовано, поэтому работа является актуальной.

Основная часть

Моделируя процесс распада вещества в виде распространения фронта детонационной волны по веществу с определенной температурой границы раздела, с помощью теории переходного состояния можно провести расчет константы скорости процесса [8, 9]. Расчет проводят при условии, что известны энтропия ΔS^* и энталпия ΔH^* образования переходного комплекса:

$$k = \chi \frac{kT}{h} e^{\Delta S^*/R} e^{-\Delta H^*/(RT)}, \quad (1)$$

где k — константа скорости реакции, с^{-1} ;

χ — трансмиссионный коэффициент; $\chi = 0\div 1$;

k — постоянная Больцмана; $k = 1,38 \cdot 10^{-21} \text{ Дж/К}$;

T — температура, К;

h — постоянная Планка; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$.

Отметим, что моделирование взрыва и детонации можно провести и для химических реакций, раз-

© Лопанов А. Н., 2011

Параметры детонации 2,4,6-тринитротолуола

Параметр разрыва связи	Связь						Время жизни молекулы, с	Скорость детонации, м/с
	=C=C=, бензол	N=O	Ar—H	C—H, метил	Ar—CH ₃	C—N		
Энергия, кДж/моль	487,4	435,0	421,6	413,2	332,0	275,9		
Энтропия, Дж/(моль·К)	44,9	43,4	43,0	46,6	47,8	46,2		
Расчетное время, с, при температуре, К:								
3500	$9,63 \cdot 10^{-14}$	$1,91 \cdot 10^{-14}$	$1,26 \cdot 10^{-14}$	$6,13 \cdot 10^{-15}$	$2,71 \cdot 10^{-14}$	$5,75 \cdot 10^{-17}$	$6,17 \cdot 10^{-13}$	1000
4000	$1,19 \cdot 10^{-14}$	$2,94 \cdot 10^{-15}$	$2,06 \cdot 10^{-15}$	$1,04 \cdot 10^{-15}$	$7,83 \cdot 10^{-17}$	$1,76 \cdot 10^{-17}$	$7,46 \cdot 10^{-14}$	8178
4500	$2,33 \cdot 10^{-15}$	$6,85 \cdot 10^{-16}$	$5,05 \cdot 10^{-16}$	$2,61 \cdot 10^{-16}$	$2,58 \cdot 10^{-17}$	$6,99 \cdot 10^{-18}$	$1,50 \cdot 10^{-14}$	8374

витие которых происходит в небольших локальных объемах, получивших название “горячих” точек.

Основная проблема теории переходного состояния — определение структуры переходного комплекса, распад которого приводит к образованию продуктов реакции. Указанная задача решается путем определения времени жизни молекулы на фронте детонационной волны.

Выделяя фрагмент детонационной волны, или “горячую точку”, с линейными размерами a (ребро куба), получим скорость распространения детонационной волны по веществу:

$$\nu = \frac{1}{10 \tau \sqrt[3]{d (N_A / M)}}; \quad \tau = \frac{1}{N_0} \int_0^\infty t dN; \quad dN = k N dt;$$

$$dN = k N_0 e^{-kt}; \quad \tau = 1/k,$$
(2)

где ν — скорость детонационной волны, м/с;

τ — время жизни молекулы, с;

N_0 — общее число молекул;

t — текущее время, с;

d — плотность вещества, кг/м³;

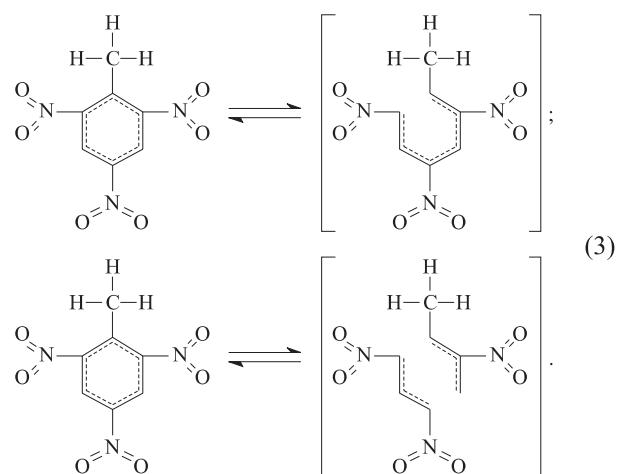
N — число частиц, вступивших в реакцию к моменту времени t ;

N_A — число Авогадро; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹;

M — молярная масса, г/моль.

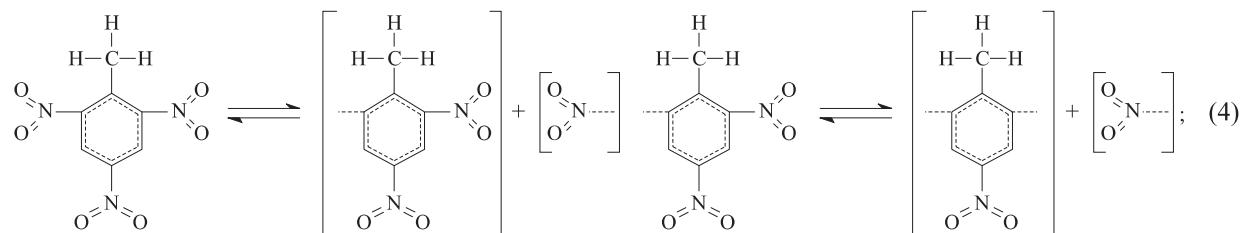
Если рассматривать структуры переходных комплексов, можно сделать вывод, что для молекулы 2,4,6-тринитротолуола (ТНТ) образование продуктов реакции при детонации происходит путем последовательного (а не одновременного) разрыва химических связей. Поясним это положение путем расчета константы скорости разрыва ароматической связи в бензольном кольце молекулы ТНТ, ис-

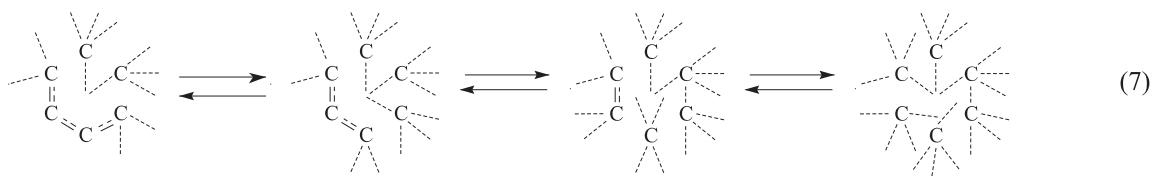
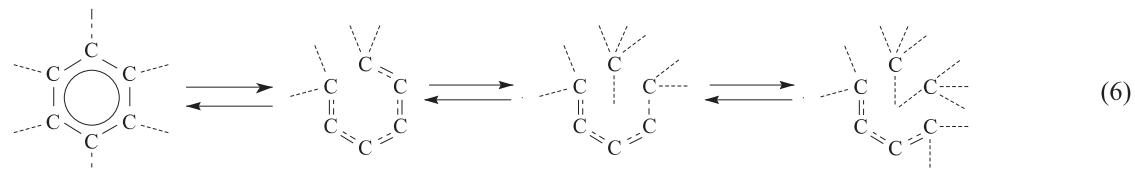
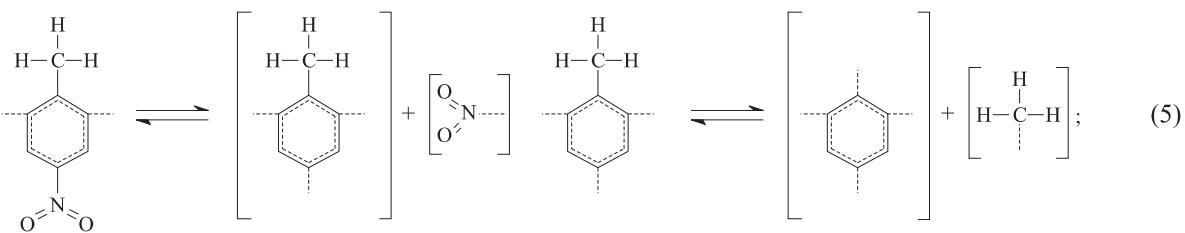
пользуя данные по энтропии и энергии разрыва связей [10] (см. таблицу). Составим формальные схемы разрыва одной и двух связей:



Определим по уравнению (1) константу скорости разрыва одной ароматической связи молекулы ТНТ: $k = 8,427 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$ (время процесса $1,187 \cdot 10^{-14} \text{ с}$). Если предположить, что происходит одновременный разрыв двух ароматических связей, расчетное значение константы скорости будет равно $1,70 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ (время процесса $5,88 \cdot 10^{-10} \text{ с}$). Сравнивая расчеты, можно отметить, что одновременный разрыв двух связей маловероятен: константа скорости разрыва двух связей на пять порядков меньше константы скорости разрыва одной связи. Поэтому разрыв связей в молекулах ВВ происходит через ряд последовательных стадий, сопровождающихся образованием переходных комплексов различной структуры.

Формальные схемы распада ТНТ представлены следующими уравнениями:





Таким образом, распад молекулы ТНТ можно представить в виде реакций, представленных схемами (4)–(7). Вначале происходят наиболее быстрые процессы — отрыв от бензольного кольца нитрогруппы и метильной группы. Константы скоростей при этом равны соответственно $5,697 \cdot 10^{16}$ и $1,278 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$. Далее происходит последовательно отрыв двух протонов (константа скорости $9,626 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$) и разрыв связей бензольного кольца (константа скорости $8,427 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$). Одновременно разрываются связи фрагментов молекулы — метильной группы, нитрогруппы.

Оценим время жизни молекулы ТНТ, учитывая наиболее медленные (лимитирующие) процессы:

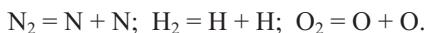
$$\tau = 6 \cdot 1,187 \cdot 10^{-14} + 2 \cdot 2,062 \cdot 10^{-15} + 3 \cdot 1,755 \cdot 10^{-17} + 7,825 \cdot 10^{-17} = 7,458 \cdot 10^{-14} \text{ с.}$$

Проведем расчет скорости распространения детонационной волны ТНТ по уравнению (2) при температуре 4000 К и плотности 1604 кг/м³. Она составит 8178 м/с.

При достаточно высоких температурах на фронте детонационной волны необходимо выделять лимитирующие стадии процесса — время движения частиц (атомов) до образования активированного комплекса и время распада связей. Без учета лимитирующих стадий распада молекул расчет дает завышенные значения скорости детонации ТНТ при температуре фронта детонационной волны 4500 К и выше (41109 м/с). Учитывая время движения частиц до образования активированного комплекса, получим скорость детонационной волны ТНТ при 4500 К, равную 8374 м/с (см. таблицу). Таким образом, при температурах 4000...4500 К происходят качественные и количественные изменения механизма детонации: в области низких температур (менее 4000 К) лимитирующей стадией процесса является время разрыва связей молекулы взрывчатого вещества,

а в области высоких температур (4500 К и выше) — время движения атомов ВВ до образования активированного комплекса. В диапазоне 4000...4500 К реализуется смешанный механизм детонации — время жизни частиц сопоставимо с временем жизни химических связей.

Представленная модель имеет существенные преимущества перед другими моделями. Моделирование на основе переходного состояния позволяет установить соответствие между молекулярной структурой взрывчатого вещества, условиями проведения процесса, скоростью распространения детонационной волны и составом продуктов взрыва. Так, по данной теории время жизни разрыва и образования связей кислорода, азота и водорода на фронте детонационной волны при температуре 4000 К составляет $10^{-20} \dots 10^{-26}$ с. Формальные схемы процессов распада связей представим в виде:



Анализируя формальные схемы образования связей и структуру активированного комплекса, отметим, что в отличие от распада взрывчатого вещества лимитирующей стадией образования оксидов углерода и азота является не время образования связи, а время пробега атомов до их столкновения между собой (отношение длины пробега атома к скорости движения):

$$\tau = \frac{M^{5/6}}{10 N_A^{5/6} \sqrt[3]{d N_A} \sqrt{3kT}}.$$

При средней длине свободного пробега, равной $(3 \div 5) \cdot 10^{-10}$ м, и скорости движения атомов порядка 9000 м/с константу скорости образования продуктов детонации оценим в пределах от $1,8 \cdot 10^{13}$ до $3 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$.

Константа скорости реакции с участием протонов существенно выше, так как протоны обладают

большой подвижностью, поэтому формальные схемы кинетики накопления и расходования продуктов реакции можно записать в следующем виде:



$$\left. \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \kappa_1(7-x)(3,5-x-y-z-f) \\ \frac{dy}{dt} = \kappa_2(x-y)(3,5-x-y-z-f) \\ \frac{dz}{dt} = \kappa_3(3,5-z)(3,5-x-y-z-f) \\ \frac{df}{dt} = \kappa_4(z-f)(3,5-x-y-z-f) \end{array} \right\}. \quad (8)$$

Здесь $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$ — константы скоростей соответствующих реакций, с^{-1} ; x, y, z, f — количество молей соответственно CO, CO_2 , NO, NO_2 , образовавшихся к моменту времени t ; 7 — количество атомов углерода в молекуле ТНТ; 3,5 — количество атомов кислорода, остающихся в системе после того, как во взаимодействие вступят все протоны с образованием воды.

Учитывая, что скорость движения CO и NO в 1,3 раза ниже скорости движения атомов C, N и O, получим следующие соотношения:

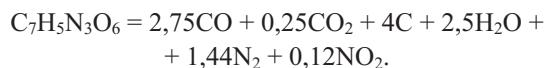
$$\kappa_1 \approx \kappa_3 \approx 2,67 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1};$$

$$\kappa_2 \approx \kappa_4 \approx 2,05 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}.$$

Система дифференциальных уравнений (8) достаточно просто решается численными методами (рис. 1 и 2). Происходит накопление оксидов углерода и оксидов азота на фронте детонационной волны. Задержка на кривой накопления оксидов азота, вероятно, вызвана соотношением констант скоростей расходования и накопления оксида азота (II).

Скорость образования промежуточных продуктов оксидов азота проходит через максимум, что обусловлено соотношением атомов азота и кислорода в молекуле ВВ. Отрицательный кислородный баланс ТНТ (-74 %) способствует распаду оксида азота NO (теплоты образования оксидов азота NO и NO_2 равны соответственно +89,924 и +33,873 кДж/моль) с образованием дополнительного 0,75 моля оксида углерода (II).

Несмотря на то что в зависимости от условий взрыва ТНТ выделяется несколько сотен веществ, основные стадии процесса можно представить следующей формальной схемой:



Расчет энталпии указанного процесса, выполненный по энергиям разрыва химических связей,

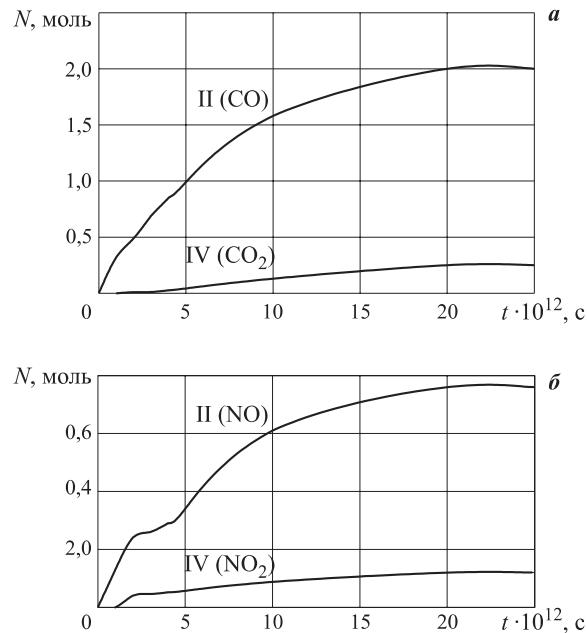


Рис. 1. Кинетика накопления оксидов углерода (а) и оксидов азота (б) на фронте детонационной волны при распаде ТНТ

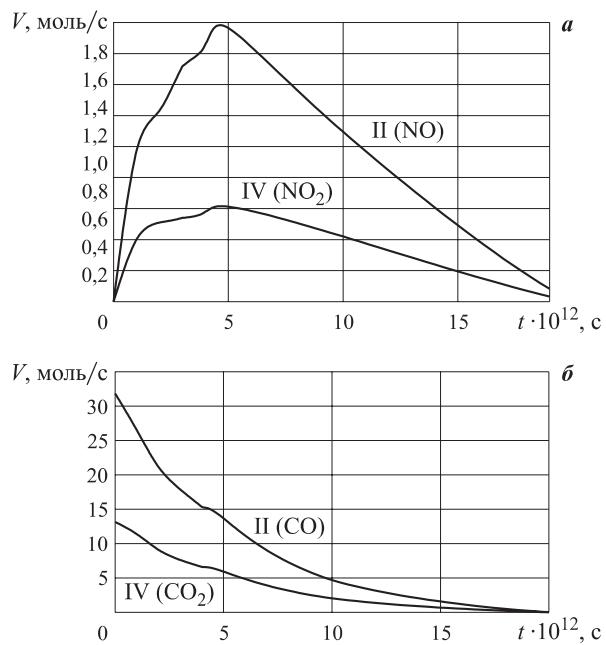


Рис. 2. Скорость образования оксидов азота (а) и оксидов углерода (б) на фронте детонационной волны при распаде ТНТ

соответствует энергии взрыва 961,55 кДж/моль (4,285 мДж/кг), что близко к экспериментальным значениям, равным 4,1...4,3 мДж/кг [5].

Выводы

1. Моделирование детонационных процессов на основе теории активированного комплекса (переходного состояния) определяет маршруты процес-

са: разрыв связей в молекуле ТНТ происходит не одновременно, а последовательно с образованием промежуточных комплексов различной структуры.

2. Основным фактором, влияющим на скорость детонационного процесса, является температура на фронте детонационной волны. Как правило, для ТНТ она не превышает 3800–4000 К, поэтому расчетная скорость детонации вещества лежит в пределах от 7000 до 8000 м/с, что хорошо согласуется с экспериментальными значениями.

3. При температурах на фронте детонационной волны 4000...4500 К происходят качественные и количественные изменения механизма детонации. В области температур менее 4000 К лимитирующей

стадией процесса является время разрыва связей молекулы взрывчатого вещества, а в области 4500 К и выше — время движения атомов взрывчатого вещества до образования активированного комплекса. В диапазоне 4000...4500 К реализуется смешанный механизм детонации — время жизни частиц сопоставимо с временем жизни химических связей.

4. Расчет констант скоростей различных маршрутов является основой для установления качественного и количественного состава продуктов взрыва. Скорость образования оксидов азота повышается, проходит через максимум и снижается до нуля. Скорость образования оксидов углерода в течение процесса распада, напротив, снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я. Б. Теория горения и детонации газов. — М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1944. — 71 с.
2. Зельдович Я. Б., Компанеец А. С. Теория детонации. — М. : Техеоретгиз, 1955. — С. 63–101.
3. Зельдович Я. Б. Избранные труды. — М. : Наука, 1984. — С. 143–201.
4. Baker W. E., Cox P. A., Westine P. S., Kulesz J. J., Strehlow R. A. Explosion and Evaluation // Elsevier Scientific Publishing Company (Amsterdam). — Oxford – New York, 1983. — Р. 32–38.
5. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. — М. : Мир, 1973. — С. 35–78.
6. Каупертвейт М., фон Холле В., Нунциато Дж. Детонация и взрывчатые вещества. — М. : Мир, 1981. — 392 с.
7. Шевцов Н. Р., Таранов П. Я., Левит В. В., Гудзь А. Г. Разрушение горных пород взрывом : учебник для вузов. — Донецк : ООО “Лебедь”, 2003. — 279 с.
8. Лопанов А. Н. Критические процессы : монография. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. — 210 с.
9. Лопанов А. Н. Взрывы и взрывчатые вещества : монография. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2008. — 516 с.
10. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М. : Химия, 1975. — 584 с.

Материал поступил в редакцию 11 октября 2011 г.
Электронный адрес автора: alopanov@yandex.ru.

**В. И. Голинько**

д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой аэробиологии и охраны
труда Национального горного университета,
г. Днепропетровск, Украина

**А. К. Котляров**

канд. техн. наук, главный научный
сотрудник Национального горного
университета, г. Днепропетровск,
Украина

УДК 622.807:622.86

КОНТРОЛЬ ПЫЛЕВЗРЫВООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Дан анализ существующих методов и средств контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт. Обоснован метод контроля пылевзрывоопасности выработок по результатам измерения концентрации пыли в рудничной атмосфере за участком интенсивного пылеотложения.

Ключевые слова: взрывоопасность; пыль; контроль; метод; горная выработка; шахта.

Одной из наиболее актуальных проблем для горной промышленности является борьба со взрывами метана и угольной пыли. Среди мероприятий, направленных на профилактику взрывов пыли, важная роль отводится контролю пылевзрывоопасности горных выработок угольных шахт. В настоящее время контроль их пылевзрывоопасности производится работниками шахт и горно-спасательных подразделений в основном визуально, а при отсутствии видимых отложений сухой, несвязанной угольной пыли состояние выработки определяется методом сдувания с помощью пневматической груши. Кроме того, с целью установления периодичности проведения противопылевых мероприятий методом сбора пыли на металлические или пластмассовые подложки определяется интенсивность пылеотложения в вентиляционных штреках [1]. Такой контроль пылевзрывоопасности является эпизодическим, приближенным и не удовлетворяет современным требованиям. С учетом этого на Украине и за рубежом ведутся работы по созданию средств для постоянного автоматического контроля пылеотложений и систем контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт.

Целью настоящей публикации является анализ состояния исследований в области разработки средств контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт и разработка предложений по повышению эффективности такого контроля.

Разработанные к настоящему времени технические средства для контроля отложившейся пыли по принципу действия можно разделить на следующие группы:

- аналитические весы;
- денситометрические приборы;
- радиоизотопные измерители;
- виброрезонансные измерители;
- радиоволновые и оптические измерители.

Использование аналитических весов предполагает определение разности между массой чистой и запыленной подложки [2]. Ввиду сложности использования существующих конструкций аналитических весов в шахте данный метод применения не нашел.

Денситометрический метод основан на определении изменения оптической плотности фильтрующего материала в зависимости от количества пыли. При этом методе пыль сначала собирается на подложки, а затем с помощью аспираторов наносится на фильтрующий материал, оптическая плотность которого изменяется. При невысокой точности метод требует большого количества различных манипуляций, поэтому основанные на нем измерители не используются для контроля пылеотложений [2].

Принцип действия радиоизотопных измерителей пылеотложений основан на определении изменения интенсивности потока бета-частиц, отраженных от чистой подложки и от запыленной поверхности. Известны попытки использования таких измерителей для контроля отложившейся пыли и определения ее зольности после осланцевания выработки (КПР-1 и КПР-1М), а также для определения содержания инертной пыли в смеси ("Инфлабар" и КОР-1) [3–5]. К их недостаткам можно отнести применение источников бета-излучения и необходимость выполнения сложных операций, связанных с подготовкой

поверхности осаждения, калибровкой прибора и сбором пыли на подложки. Существующие стационарные радиоизотопные приборы имеют диапазон измерения пылеотложения в пределах $10\text{--}100 \text{ г}/\text{м}^2$ при погрешности $\pm 20\%$ и в принципе могут быть использованы для сигнализации о взрывоопасном состоянии выработок. Однако наличие радиоизотопных источников, сложность обслуживания и дороговизна приборов ограничивают возможность их использования в условиях горных предприятий.

В виброрезонансных датчиках масса пыли, откладывающейся на металлической мемbrane или пьезокристалле, изменяет резонансную частоту механических колебаний чувствительного элемента [2]. Открытая рабочая поверхность датчика не защищена от оседающей пыли, что может привести к механическим повреждениям пылесобирающих чувствительных элементов, износу материала механической колебательной системы при периодическом удалении осевшей пыли и, в конечном счете, — к значительной погрешности измерений.

При использовании радиоволнового метода механическая колебательная система [6] заменена электромагнитным колебательным контуром, частота колебаний в котором зависит от диэлектрической проницаемости пылесобирающей подложки. В целом радиоволновой метод подобен виброрезонансному, однако здесь на точность показаний влияет влажность, состав пыли и наличие царапин и повреждений на измерительной подложке. Приборы, основанные на данном методе, также не получили распространения.

Общим недостатком всех перечисленных методов контроля отложившейся пыли является необходимость периодического удаления накопленной на чувствительных элементах пыли. Кроме того, все они предполагают установку датчика в какую-либо одну точку выработки. Это место должно наиболее полно отражать интенсивность пылеосаждения в выработке в целом, однако в реальных условиях выбрать такое место практически невозможно.

Как вариант, повышающий качество контроля, можно рассматривать использование нескольких точек контроля для одной выработки, однако это приводит к удорожанию системы за счет увеличения количества датчиков. В любом случае использование датчиков пылеосаждения предполагает точечный отбор проб. Однако точность измерений при этом зависит от локальных перемещений воздушного потока, на который, в свою очередь, влияет загроможденность выработки оборудованием, движение шахтного транспорта и людей. Поэтому более точной считается косвенная оценка пылеотложения — по концентрации пыли в воздухе [7]. При этом в движущемся потоке воздуха контролируется вся

поступающая в выработку пыль, что способствует уменьшению погрешности измерений.

Результаты контроля пылеотложения на основе информации о концентрации пыли и параметрах пылевоздушной среды могут служить информационной базой для оценки взрывоопасности выработки только при условии высокого уровня технологической дисциплины и неукоснительного выполнения мероприятий, направленных на предупреждение взрывов угольной пыли (например, связывание или уборка отложившейся пыли при срабатывании сигнализации в случае превышения допустимой величины пылеотложений). Однако при низком уровне технологической дисциплины, некачественном и несвоевременном проведении указанных мероприятий, введении недостоверной информации об их проведении возможно возникновение чрезвычайно опасных ситуаций. В связи с этим, несмотря на возможность и все преимущества определения взрывоопасности выработки на основе информации, поступающей от системы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок [7], в настоящее время появилась необходимость в поиске решений, позволяющих оценивать реальное состояние выработки. Причем эта оценка не должна зависеть от субъективных факторов (например, от ввода информации о выполнении мероприятий, направленных на предупреждение взрывов угольной пыли).

Как было показано в работе [8], при постоянно действующем источнике пылеобразования концентрация пыли по длине вентиляционной выработки $C = f(l)$ описывается выражением, которое представляет собой экспоненту, имеющую асимптоту:

$$C = (C_0 - c) \exp(-bl) + c, \quad (1)$$

где C_0 — концентрация пыли в месте сопряжения очистной и вентиляционной выработок, $\text{мг}/\text{м}^3$; b — коэффициент, характеризующий скорость оседания пыли на единице длины выработки, м^{-1} ; l — расстояние от места сопряжения выработок по ходу движения воздуха до места контроля, м.

При этом величина асимптоты c зависит не только от режима работы главных источников пыли (пылящего оборудования), но и от взметывания уже осевшей пыли. Причем взметывание пыли с поверхности горной выработки происходит постоянно при наличии достаточного количества осевшей пыли и неизменной скорости потока в результате роста кластеров из осевших частиц. Увеличение размеров пылевого кластера приводит к росту сопротивления движущемуся потоку воздуха и взметыванию его в воздух с последующим распадом на мелкие частицы, которые зависают в воздухе на длительное время [9].

Рассмотрим вклад взметывания пыли в величину параметра c , к которому асимптотически приближается концентрация пыли за участком интенсивного пылеотложения (например, на расстоянии не менее 100 м от лавы).

Значение асимптоты c на указанном расстоянии зависит от интенсивности пылеобразования в первичном источнике (вынос пыли с лавы) и постоянно действующего источника пылеобразования — взметывания отложившейся пыли на участке ее интенсивного отложения. Интенсивность первичного источника пыли существенно изменяется в зависимости от режима работы добычного комбайна — основного источника первичного пылеобразования и расположения его в лаве, а также от режима работы забойного конвейера, выполнения операций по передвижке крепи и др. Диапазон изменения этой интенсивности колеблется от нуля (при прекращении процесса добычи) до максимального значения (при нахождении добычного комбайна вблизи места сопряжения лавы с вентиляционным штреком).

Очевидно, что максимум параметра c и его промежуточные значения определяются в этом случае суммарной мощностью двух источников пыли — первичного (вынос пыли с лавы) и вторичного (взметывания пыли). Минимальное же значение параметра c определяется только процессом взметывания пыли. Взметывание пыли с поверхности горной выработки происходит постоянно и начинает наблюдаться уже при скорости движения воздуха около 0,3 м/с [10, 11], при наличии значительного количества осевшей пыли, однако в этом случае оно имеет неустойчивый характер. Устойчивый процесс взметывания пыли наблюдается при скорости воздуха не ниже U_{kp} [12, 13]:

$$U_{kp} \geq 10,1/S_v, \quad (2)$$

где S_v — площадь сечения выработки, m^2 .

Взметывание пыли является сложным физическим процессом и зависит от множества факторов. Определяющим среди них является количество пыли, накопленной на стенах горной выработки. При отсутствии или незначительном объеме пылеотложений (например, после уборки или связывания угольной пыли) взметывание практически отсутствует. По мере накопления пыли движущийся поток воздуха вначале начинает поднимать мелкие фракции с поверхности аэрогеля, но затем, вследствие большой парусности образующегося конгломерата и нейтрализации сковывающих зарядов, осевшие пылевые микроструктуры разрушаются и частицы пыли вновь переходят во взвешенное состояние.

В работе [14] массу пыли, поднимаемой в атмосферу потоком воздуха из отбитой горной массы,

связывают с количеством пыли в отбитой горной массе и определяют по формуле

$$m = \varphi M, \quad (3)$$

где m — масса пыли, поднимаемой в атмосферу из отбитой горной массы потоком воздуха, кг; φ — часть пыли, поднимаемой в атмосферу потоком воздуха;

M — масса пыли в отбитой горной массе, кг.

Исходя из общности физики процессов взметывания пыли, следует ожидать наличия аналогичной связи и между количеством пыли, накопленной на стенах выработки, и интенсивностью вторичного взметывания. В таком случае по минимальному значению концентрации пыли, измеренному за участком интенсивного пылеотложения, можно судить о количестве пыли, накопленной на участке интенсивного пылеотложения, а следовательно, и оценить взрывоопасность выработки по пылевому фактору.

Поскольку взметывание пыли зависит от множества факторов, влияющих на взрывоопасность отложившейся угольной пыли, оно в определенной мере является интегральной характеристикой взрывоопасности горной выработки, а минимальное значение асимптоты c при этом:

- характеризует количество накопившейся пыли на участке интенсивного отложения пыли;
- зависит от дисперсного состава (крупности отложившейся пыли), т. е. параметра, влияющего на взрывчатые свойства пыли;
- зависит от склонности пыли к взметыванию, которая определяется плотностью частиц пыли, ее влажностью, склонностью к слипанию, прилипанию, агрегированию, что важно с точки зрения оценки взрывчатых свойств отложившейся пыли.

Породная пыль, как более плотная, в меньшей степени склонна к взметыванию, а угольная — наоборот, в большей.

Взметывание не прекращается, если не проведена уборка или связывание осевшей пыли (т. е. не выполнен комплекс противопылевых мероприятий). Другими словами, при контроле взрывоопасности выработки по минимальному значению концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения нельзя исключить срабатывания пороговых устройств в системе контроля взрывоопасности горной выработки путем введения ложной информации о выполнении противопылевых мероприятий в отличие от всех рассмотренных выше методов контроля пылеотложения.

В то же время взметывание пыли зависит от множества факторов, которые непосредственно не влияют на взрывоопасность горной выработки или влияние их неоднозначно. Среди таких факторов в пер-

вую очередь следует выделить скорость движения воздуха в горной выработке. С ростом скорости движения воздуха интенсивность вторичного взметывания пыли повышается и длина участка интенсивного пылеотложения становится больше [10, 11, 13] при одновременном снижении удельной величины пылеотложений на указанном участке. Поэтому при одинаковом минимальном значении концентрации пыли, измеренном за участком интенсивного пылеотложения, но различной скорости воздуха в выработке, уровень ее взрывоопасности будет различным (чем выше скорость, тем ниже уровен взрывоопасности). Это обуславливает необходимость учета скорости воздуха (введения коррекции) при контроле взрывоопасности по концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения. Учет скорости может осуществляться автоматически (при наличии средств контроля скорости воздуха) или путем введения поправки на скорость при расчете коэффициента взрывоопасности горных выработок.

Разница между текущим и минимальным значениями концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения характеризует интенсивность первичного источника. Наличие такой информации позволяет прогнозировать скорость накопления пыли и предупреждать с помощью сигнализации о необходимости проведения мероприятий, направленных на предотвращение взрывов угольной пыли.

Интегрирование концентрации во времени характеризует вынос пыли из зоны ее активного накопления, позволяет прогнозировать изменение взрывоопасности выработок вне зоны активного накопления пыли и исходя из этого регламентиро-

вать периодичность проведения мероприятий, направленных на уборку или связывание отложившейся пыли за зоной ее активного накопления. Кроме того, эта информация дает возможность оценить с гигиенической точки зрения условия труда по пылевому фактору путем расчета пылевой нагрузки горнорабочих.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что вторичное взметывание пыли на участке интенсивного пылеотложения является интегральной характеристикой взрывоопасности горной выработки, а величина вторичного взметывания пыли на участке интенсивного пылеотложения может быть определена посредством измерения минимальной концентрации пыли в воздухе за этим участком. Это позволяет принципиально изменить подход к вопросу создания системы контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт, одновременно используя технические средства контроля концентрации пыли для гигиенической оценки условий труда горнорабочих и оценки взрывобезопасности выработок на участке интенсивного пылеотложения.

Среди других факторов, влияющих на взметывание и отложение пыли, следует также выделить геометрические параметры и загромождение выработки обоудованием, влажность воздуха и пыли, обводненность выработки и пр. Для обоснованного учета всех вышеперечисленных факторов необходимо проведение дополнительных исследований и разработка методики оценки пылевзрывоопасности горной выработки по измерению концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли // Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. — Київ : Основа, 1996. — Т. 1. — С. 361–417.
2. Нецепляев М. И., Любимова А. И., Петрухин П. М. и др. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. — М. : Недра, 1992. — 298 с.
3. Определение радиоизотопным методом содержания негорючих веществ при осланцевании горных выработок // М. Д. Кривицкий, А. П. Дегтярев, Е. П. Евдокимова и др. // В кн. : Способы и технические средства обеспечения безопасных и здоровых условий труда на угольных шахтах. — Макеевка : МакНИИ, 1988. — С. 73–84.
4. Krzystolik P., Lebecki K. Further development of the analyzer for quick control of solid incombustible content // Proceedings of the 21th International conference of Safety in Mines Research Institutes. — Sydney, 1985. — Р. 427–432.
5. А. с. 1346815 (СССР). Прибор для измерения количества осевшей пыли / Кривицкий М. Д., Дегтярев А. П., Попсуев В. И. и др. — Опубл. 1987, Бюл. № 39.
6. Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С. Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин. — М. : Наука, 1981. — 264 с.
7. Голинько В. И., Колесник В. Е. Оценка пылевзрывобезопасности горных выработок угольных шахт по содержанию пыли в воздухе // Уголь Украины. — 2001. — № 6. — С. 24–26.
8. Колесник В. Е. Моделирование процесса распространения пыли по длине горной выработки при постоянно действующем источнике // Науковий вісник НГА України. — 2001. — № 2. — С. 49–52.

9. Кирин Б. Ф., Журавлев В. П., Рыжих Л. И. Борьба с пылевыделением в шахтах. — М. : Недра, 1983. — 213 с.
10. Воронин В. Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. — М.-Л., 1951. — 490 с.
11. Дьяков В. В., Ковалев В. И. Противопылевые вентиляционные режимы на рудниках. — М : Недра, 1984. — 200 с.
12. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / Петрухин П. М., Нецепляев М. И., Качан В. Н., Сергеев В. С. — М. : Недра, 1974. — 304 с.
13. Ксенофонтова А. И., Бурчаков А. С. Теория и практика борьбы с пылью в угольных шахтах. — М. : Недра, 1965. — 231 с.
14. Поздняков Г. А. Аэродинамика перехода пыли во взвешенное состояние // Вопросы вентиляции, охлаждения воздуха, борьбы с пылью и контроль рудничной атмосферы в шахтах. — Макеевка-Донбасс, 1983. — С. 88–91.

*Материал поступил в редакцию 27 сентября 2011 г.
Электронный адрес авторов: golinko@ptu.org.ua.*

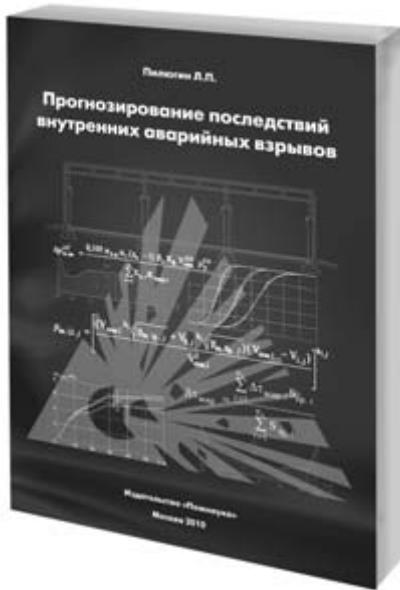


Издательство «ПЖНАУКА»

Предлагает вашему вниманию

Л. П. Пилюгин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ



Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на этих производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

121352, г. Москва, а/я 43;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



И. М. Абдурагимов

д-р техн. наук, профессор, академик
НАНПБ, полковник внутренней службы,
г. Москва, Россия

УДК 614.842.8

НОВАЯ СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Показано, что проблема борьбы с лесными пожарами может быть успешно решена новым, российским способом их тушения — на ранней, начальной стадии их развития. Это может быть достигнуто совмещением советского способа “крылатых пожарных” и модернизированных советских вертолетов Ми-17 или Ка-32, используемых в новом качестве, особенно если принять во внимание, что для этого потребуется вертолетный парк всего 100–150 машин, а численность “крылатых пожарных” с учетом темпов ее увеличения, заявленных Федеральным агентством лесного хозяйства РФ на 2012 г., составит более 3500 чел.

Ключевые слова: лесной пожар; тушение; стратегия и тактика; вертолет; “крылатый пожарный”.

О пять начало июня (теперь уже 2011 г.)... В Питере по законам природы начинаются восходительные белые ночи. А по всей России, по столь же неумолимым законам природы, вовсю бушуют лесные и другие “природные” пожары (торфяные, степные и пр.), несмотря на то что погодные климатические условия этого года в отличие от 2010 г. вполне нормальные. Лишь местами, да и только кратковременно (на 2–3 дня), температура воздуха отклоняется от средней обычной нормы на 3–4 °C.

В 2010 г. органы и службы, так или иначе ответственные за пожарную безопасность российских лесов (об этом чуть позже), оправдывались тем, что такой жары в России не было не только за всю историю метеонаблюдений (около 150 лет), но и за всю историю человечества, по крайней мере от рождения Христова! Хотя российские летописи и хранят упоминания, что в некоторые годы мощных лесных пожаров на земле Русской была “великая сухмень”, но градусов не указывают... Пусть это будет на совести метеорологов и служб охраны лесов от пожара. Правда, теперь, после принятия нового Лесного кодекса Российской Федерации 2007 г. [1], непонятно, кто именно представляет эти службы [2].

Начал писать эту статью в середине мая, когда все средства массовой информации “гудели”: “...суммарная площадь горящих лесов и торфяников вдвое больше, чем в этот же период жаркого 2010 года... Общее число очагов загорания тоже в полтора-два раза больше, чем в прошлом году...”.

Еще сообщалось, что особенно интенсивно горят: Московская область; лесные массивы в горах Алтая и Урала; леса Западной и Восточной Сибири, Забайкалья, Бурятии, Дальнего Востока, т. е. практически по всей России. В июне к ним прибавились Якутия и некоторые другие новые регионы. Причем российские лесные экологи, в том числе А. Ярошенко, утверждают, что цифры, приводимые в средствах массовой информации, занижены в несколько раз. Заместитель руководителя Рослесхоза Е. Трунов “уклончиво” с этим согласился [3, 4]. Более того, в статье “Площадь лесных пожаров занижена в шесть раз?” [5] сказано: “...к такому выводу вчера пришли в Общественной палате, сравнив “показания” наших чиновников с данными Всемирного мониторинга пожаров”. Полагаю, ответ на вопрос: на чьей стороне правда — в доказательствах не нуждается.

Примечания:

1. Кстати, Е. Трунов — весьма компетентный, грамотный специалист для современных руководителей столь высокого ранга, и отличный полемист. Даже Е. Шергова в программе “Совершенно секретно” не смогла добиться от него прямого признания, что одна из существенных причин лесных пожаров России последних лет — принятие преступного Лесного кодекса 2007 г. [1]. Руководство Рослесхоза не смогло этому противостоять (в том числе и Е. Трунов), и думские лоббисты при пассивном участии руководства МЧС России

© Абдурагимов И. М., 2011

смогли его протащить. А теперь Трунов мастерски оправдывается, что за 3–4 года всех проблем, по рожденных этим Лесным кодексом, не устраниТЬ.

2. Когда этот материал был уже в печати, 10–11 июня Министр МЧС России С. К. Шойгу прямо с места тушения одного из наиболее сложных лесных пожаров сообщил, что обстановка с лесными пожарами в стране опять очень сложная, а во многих регионах близка к чрезвычайной: общая площадь лесных пожаров почти вдвое больше, чем в прошлом, небывало жарком году.

Можно назвать много причин (по крайней мере, основных 6–7), по которым мы уже не один год наблюдаем ужасающую картину лесных пожаров на территории России (и ряда других стран мира). Все их проанализировать сложно (пусть это делают лесные специалисты). Я же, как пожарный специалист с опытом работы в этой области более 55 лет, в том числе около 36 лет в области борьбы с лесными пожарами, остановлюсь преимущественно на российских проблемах, касающихся главным образом горения и тушения лесных пожаров.

Пять–шесть основных причин, по которым современное человечество испытывает большие проблемы, связанные с лесными пожарами, в той или иной степени подробно проанализированы во многих публикациях (в том числе в указанных выше) [2–4, 6–12] и в десятках более обстоятельных и солидных исследований. С выводами этих исследований все специалисты более или менее согласны, поэтому повторять их здесь нет смысла. Но одна из причин (по порядку и по степени важности занимающая 4-е или 5-е место) заслуживает особого внимания, тем более что и в России, и во всем мире ей не уделяется должного внимания.

Речь идет об эффективных и своевременных методах тушения первичных очагов зарождения крупных лесных пожаров. К сожалению, таких методов тушения нет ни в одной стране мира (ни в лесоохраных службах, ни в службах пожарной охраны). Это очень сложная проблема, которую никому пока не удается решить.

Причин такого положения тоже можно назвать много.

Во-первых, существует проблема своевременного обнаружения очага загорания, когда его размеры измеряются еще метрами, а площадь горения — несколькими квадратными метрами, когда его еще можно быстро и без больших потерь погасить сравнительно малыми средствами. Но если этого не сделать на ранней стадии, то через час–полтора он разовьется до таких масштабов, что его крайне трудно или вообще невозможно будет потушить даже очень большими усилиями.

Особенно остро эта проблема стоит в России и некоторых других странах мира, где площади “не-

проходимых” лесных массивов измеряются тысячами гектаров (десятками километров вдоль и поперек).

Во-вторых, даже после обнаружения очагов пожара к ним, как правило, трудно своевременно добраться, а тем более доставить туда специалистов и эффективные средства тушения, совершенно необходимые для их тушения: воду в требуемых количествах; технические средства ее подачи в рассредоточенные очаги горения (особенно если речь идет о верховых пожарах).

В-третьих… А третья причина стала особенно очевидной 17 мая 2011 г. (что и не позволило дописать статью в середине мая). Именно в этот день в рамках Международного салона “Комплексная безопасность–2011” состоялась XXIII Международная научно-практическая конференция “Актуальные проблемы пожарной безопасности”, проводимая ВНИИПО МЧС России. В работе конференции приняли участие: руководство министерства, более 140 ученых и практических работников пожаротушения и лесоохраны из России, стран СНГ и Балтии (Беларусь, Украины, Литвы), а также представители заинтересованных научных и общественных организаций. С докладами на конференции выступили 14 человек.

Основные темы, которые обсуждались на конференции, — проблемы борьбы с лесоторфяными пожарами, развитие добровольной пожарной охраны в свете принятия в мае 2011 г. Федерального закона № 100-ФЗ “О добровольной пожарной охране” [13]. Анализ материалов этой “международной” конференции еще раз со всей очевидностью показал, что даже в России (где в пожарной охране страны работают специалисты высочайшего класса: десятки академиков с мировым именем; сотни докторов наук, профессоров; несколько сот кандидатов наук, доцентов и старших научных сотрудников и даже десятки генералов весьма высоких званий, чего нет, видимо, вообще ни в одной стране мира) нет разумной концепции борьбы с лесными пожарами.

Примечание. Хотя всем специалистам, работавшим в пожарной охране МВД СССР, в общем-то хорошо известно, что развал профессиональной пожарной охраны и особенно добровольной (ВДПО) произошел именно при переводе пожарной охраны страны в систему МЧС. В принципе, пожарной охране в МВД не место, поскольку пожар — это типичная “чрезвычайная ситуация” мирного времени, и ей место в МЧС. Это правда и то, что невоенизированная пожарная охрана, которая была основной во всей стране (кроме Москвы, Ленинграда и некоторых спецгородов и спецобъектов), т. е. профессиональная пожарная охрана, которая, конечно, была намного слабее военизированной, МЧС была нужна менее всего. Поэтому

она и пострадала наиболее сильно (и качественно, и количественно) при переводе в МЧС. Да и добровольная пожарная охрана, которая существовала в России еще с “дореволюционных” времен (или до октябрьского переворота...) и в некоторые периоды была очень сильна и значима, при переходе в МЧС была практически загублена. А теперь торжественной реляцией звучит “...принятие в мае 2011 г. Федерального закона «О добровольной пожарной охране» № 100-ФЗ...”. И ни слова о том, кто, когда и зачем ее так успешно развалил. Точно так же, как никто до сих пор не удосужился спросить, кто и как пролоббировал принятие “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” [14], принятый Государственной Думой и одобренный Советом Федерации в срочном порядке, всего за 7 дней! Причем обратите внимание на название: не “Технический регламент обеспечения пожарной безопасности”, а “Технический регламент о требованиях...”. А кто и как должен обеспечивать эту безопасность, осталось “за кадром”. Вот одна из главных причин многих бед.

Взамен плохой, громоздкой, сложной и неудобной системы нормативных документов, действовавших в Советском Союзе, принят “Технический регламент”. Но советская система хотя и плохо, но действовала, а “Пожарный регламент” вообще не действует: пользоваться им практически невозможно. Все постепенно сползает к возврату старой нормативной базы. Но это происходит “незаметно”, как говорится по-русски, “исподтишка”, а последствия, весьма трагичные и чаще всего непоправимые, скажутся позже (через 5–6 лет). Но тогда уже спрашивать будет не с кого, как уже сейчас не с кого спрашивать за принятие преступного Лесного кодекса образца 2007 г.

И беда не в том, что в России тьма “пожарных генералов”, и не в том, что они даже иногда тушат пожары! (Это ли не повод для “патриотизма” и “национальной гордости великороссов”: у них там в Англии, Германии, Франции, даже в Америке (!) пожары тушат лейтенанты, редко когда капитаны или майоры, а у нас — генерал-лейтенанты, генерал-майоры, а иногда даже генерал-полковники!)

Для справки. В Советском Союзе в его “лучшие годы” на все 14 республик было всего 11–12 действующих «пожарных генералов» (почти на 250 млн чел. населения Союза). Сейчас только в Российской Федерации (на 140 млн чел.) их, по крайней мере, вдвое, а то и втрое больше. Правда, в 80-х гг. удалось установить, что все советские «пожарные генералы», вместе взятые, получают в месяц зарплату, по порядку величины близкую к зарплате руководителя службы пожаротушения, капитана в г. Филадельфии (США) и равную примерно зарплате старшего лейтенанта, руководителя

службы пожаротушения в г. Берне (Швейцария). Иными словами, получаемая ими зарплата по средней покупательной способности была примерно одинакова. Интересно, как обстоят дела с зарплатами пожарных специалистов (в том числе пожарных генералов) в России и в остальном мире на сегодняшний день?

Беда в том, что эти генералы с трибуn говорят чушь о способах и методах тушения лесных пожаров (Н. И. Копылов, В. И. Климкин на конференции 17 мая) и пишут о тушении других видов пожаров, в частности твердых горючих материалов (ТГМ) (генерал-полковник И. М. Тетерин, генерал-лейтенант Е. А. Мешалкин и др.) [7, 15, 16].

Первые два генерала, взяв на вооружение у современных войсковых генералов “ковровый метод” бомбардировки, активно пропагандируют тушение лесных пожаров сбросом воды с самолетов и вертолетов. Причем они не задумываются о том, что 1 л воды, вылитый на лесной пожар с самолета, стоит от 30–40 до 70–80 руб. (т. е. дороже 1 л пива и чуть дешевле 1 л разливного “Советского шампанского”!). И при этом коэффициент использования (коэффициент полезного действия) этой воды, вылитой на лесной пожар, — менее 1–2 %, т. е. 98 л из 100 проливается напрасно. Напрасно потому, что такая большая доля потерь воды при тушении всех видов пожаров ТГМ за последние 35–40 лет однозначно доказана несколькими десятками научных исследований и ежедневно подтверждается реальной практикой тушения пожаров. Эти цифры стали уже прописной истиной для специалистов пожарной охраны всех рангов. И генералы МЧС не имеют права этого не знать.

При сбросе воды с вертолета ее цена чуть ниже (несмотря на то, что 1 тонна-километр вертолета в 2–3 раза дороже по сравнению с самолетом). За счет сокращения “плеча полета” вертолета до места заправки водой стоимость сбрасываемого с него 1 л воды в 5–10 раз ниже, чем с самолета. Соответственно, и КПД воды, сбрасываемой на лесной пожар с вертолета, в 2–3 раза выше, т. е. примерно на 4–6 %. И все равно эта вода — “золотая”, а эффект тушения лесного пожара даже такой водой все равно ничтожно мал [9, 12]. На это генералы с фарисейским сарказмом заявляют: “Какие могут быть экономические расчеты, когда речь идет о спасении жизни людей?!”. Хотя они-то отлично знают, что в современной России гибель людей на пожарах почти в 10 раз выше (за год в расчете на 1000 чел. населения), чем “у лейтенантов” в Америке (Англии или Германии) [9]. И что по числу человеческих жертв на пожарах на 1 млн чел. в год Россия твердо занимает первое место в мире, в пять–десять раз обогнав по этому показателю США и многие другие цивилизованные страны мира. А ведь в 70-х годах XX века все было наоборот: в США этот показатель был в

3–4 раза хуже, чем в СССР. Примерно при одинаковой численности народонаселения в США ежегодно гибло от пожаров 10–12 тыс. чел., а в СССР — 3,5–4,0 тыс. чел.

Два других упомянутых генерала с упорством, достойным лучшего применения, пропагандируют (и внедряют за огромные деньги!) бездарные, 30–40 лет назад отвергнутые идеи “тонкораспыленной воды” [7, 15]. И если тонкораспыленная вода внедряется на коммерческой основе (за деньги инвесторов) и лишь иногда — за “государственный счет” [15], то все другие, совершенно неэффективные средства пожаротушения разрабатываются и внедряются только за государственный счет, т. е. за счет доверчивых налогоплательщиков.

Вот в чем беда обилия пожарных генералов в России! Вот в чем одна из причин лесных пожаров в России в 2010–2011 гг.! В том, что при особых “лесных проблемах” России, особенно после развала лесного хозяйства (Рослесхоза) новым Лесным кодексом [1], в России, как и в большинстве стран мира, не стало соответствующих научных и практических разработок по стратегии, тактике и технике тушения лесных пожаров на ранней стадии их развития. Хотя предпосылки таких разработок, основанных на физике и химии горения лесных горючих материалов и других ТГМ, физике и химии их тушения, уже были разработаны в России более 20 лет назад [17–22], а окончательно предложены в публикациях 2008–2011 гг. [7–9].

Содержащиеся же в докладах, исследуемые и даже рекомендуемые для практического применения способы тушения лесных пожаров сбросом воды с вертолетов (а тем более с самолетов), “исследования” способов тушения лесных пожаров сбросом бомб и взрывом снарядов с порошковыми огнетушащими средствами со всей очевидностью свидетельствуют о полном непонимании главного механизма огнетушащего действия этих средств пожаротушения, физики и химии горения ТГМ, а также физики и химии их тушения.

Это тем более досадно и непонятно, что именно во ВНИИПО и 50, и 40 лет назад, и сравнительно недавно велись тщательнейшие экспериментальные исследования механизмов огнетушащего действия и практического применения средств пожаротушения, в том числе тушения пожаров химически активными ингибиторами (ХАИ) (Н. И. Мантуров); замечательные, обширные аналитические и экспериментальные исследования механизмов тушения ХАИ и порошковых средств тушения (А. Н. Баратов, Л. П. Богдан); тушение пожаров водой (Е. И. Иванов); обстоятельные исследования по тушению некоторых видов пожаров (А. А. Роде, В. М. Кучер); блестящие научные исследования по подавлению пламени (В. В. Мольков) и другие исследования в

этой области (даже половины ученых, причастных к ним, не перечтешь в рамках журнальной статьи). А теперь напрочь все забыто! Зато мы имеем исследования и рекомендации по применению воды и порошков для целей пожаротушения, находящиеся на уровне времен каменного века или дореволюционного периода.

Одна из причин такого бедственного положения “пожарной науки”, а точнее науки о тушении пожаров, известна. И в советское время, и тем более сейчас, большинству этой огромной, многочисленной и подчас весьма высококвалифицированной армии ученых при пожарной охране страны приходится работать в стиле “чего изволите-с?”. К сожалению, это относится и к МЧС (где сегодня десятки “пожарных генералов”), о чем явно свидетельствуют реплики и комментарии председательствовавшего на конференции 17 мая, в недавнем прошлом главного “тушилы” Москвы, а ныне — начальника ВНИИПО генерала В. И. Климкина. Вторая причина заключается в том, что в наши дни в стране царит полный произвол, отсутствие конкуренции, бесконтрольность и безответственность в области противопожарной защиты, и особенно пожаротушения. На сегодняшний день у нас нет ни одного компетентного и независимого эксперта в этой области. Нет ни дискуссий, ни обсуждений, ни тем более оценки качества этого сложнейшего и очень важного рода деятельности сотен тысяч специалистов, работающих в стране в области пожаротушения.

Даже прямые сообщения, письма и публикации [5, 9, 15, 23–26] об ошибках и необоснованности многих разработок; о необоснованности и бесперспективности многомиллионных, и даже многомиллиардных затрат государственных средств, граничащих с прямыми финансовыми преступлениями, не вызывают ни отклика, ни возражения, ни контрвыступлений или доказательств правоты. Молчаливый “всеобщий одобрям-с”, победные реляции, фальсификации и очковтирательство, включая классические “потемкинские деревни”, и продолжение беспардонного разбазаривания огромных государственных средств царят в системе пожарной охраны МЧС России сегодня.

Примечание. Материального ущерба от пожаров (и взрывов) никто не считает. Во-первых, никто не умеет это делать грамотно и корректно, а во-вторых, это никому неинтересно. Ни затраты, ни ущерб, ни даже человеческие жертвы... Разнотечения в разных системах и способах учета могут отличаться в 2–3 раза и более (даже в 10 раз!). Да и кому это действительно нужно в современной России на фоне повсеместного воровства, разграбления, коррупции и прочих должностных, уголовных и государственных преступлений во всех сферах?

Блестящим подтверждением такой ситуации в пожарной охране МЧС России является статья Ю. Калининой [26], появившаяся уже после написания этой статьи. У Ю. Калининой почти как в "Ревизоре" Н. В. Гоголя: "...как рассказали пожарные, за откровения с корреспондентом досталось и тем, кто беседовал, и тем, кто молчал, и тем, кто даже не был в этот день на дежурстве. И младшим, и старшим, и средним. ГУ МЧС по Московской области было в бешенстве и «ВСТАВИЛО ВСЕМ», — пишет эта дама. "Вставили" — за нарушение МЧСовского закона "Все хорошо, прекрасная маркиза..."".

В то же время уже в течение многих лет [9, 17–25] предлагается к обсуждению и реализации радикально новый, эффективный способ тушения лесных пожаров методом управляемой, регулируемой подачи воды на тушение лесных пожаров (и низовых, и верховых). Причем в 2010–2011 гг. предложен даже метод, совмещающий совершенно бессмысленный, издевательский метод тушения лесных пожаров в глубокой таежной глуши силами легендарных "крылатых пожарных" [6, 8, 9] с современным, принятым во всем мире и тем не менее почти бесполезным способом тушения лесных пожаров сбросом воды с вертолетов.

Однако совмещение этих идей и двух методов тушения лесных пожаров при соответствующей их модернизации и адекватном техническом обеспечении позволяет качественно, в десятки раз повысить эффективность тушения лесных пожаров именно на ранней (начальной) стадии их развития. Классический пример синергетического эффекта от совмещения этих двух, различных по существу методов дает возможность получить качественно и количественно новый и значительно более высокий результат. Предлагаемый метод может позволить резко сократить число крупных пожаров путем своевременного и эффективного их тушения (а не "притушивания", как сегодня) на самой ранней стадии их развития.

Суть предлагаемых стратегий и тактики тушения лесных пожаров состоит в том, что для их реализации используется модифицированная пожарная авиатехника и новые приемы и способы подачи воды с вертолета на режиме висения, в очаг лесного пожара в управляемом, регулируемом режиме тушения с соблюдением (причем неукоснительным) трех основных параметров процесса тушения пожаров ТГМ [6, 9, 17–22]:

- интенсивности подачи воды в очаг пожара (непосредственно на поверхность горящих лесных ТГМ) порядка $0,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
- удельного расхода воды на тушение площади пожара ТГМ порядка $10\text{--}15 \text{ л}/\text{м}^2$;

- соответствующего этим параметрам и физике тушения ТГМ времени "непрерывной" или импульсной подачи воды непосредственно на поверхность горящих ТГМ — около 100–150 с, т. е. порядка 1,5–2,5 мин [6, 9, 17–22].

Снижение численного значения любого из этих трех параметров процесса тушения пожаров ТГМ на 25–30 % почти исключает положительный эффект тушения. В то же время соблюдение одновременно всех трех параметров тушения в пределах $\pm 5\%$ от их номинального значения практически гарантирует эффект тушения пожара, если коэффициент поверхности горения K_p не превышает 3–5. При условии, что эти параметры тушения реализуются не "в среднем" по площади пожара, а обеспечиваются непрерывно и повсеместно, практически на каждом квадратном метре всей площади тушения пожара.

Только соблюдение этих обязательных параметров тушения пожара ТГМ типа древесины может позволить эффективно и качественно потушить лесной пожар в профессиональном понимании этого слова (тушить, а не "притушивать", как выразился на международной конференции 17 мая 2011 г. генерал В. И. Климкин).

Для этого необходимо (или наиболее рационально) использовать те модифицированные советские вертолеты Ми-17 (в крайнем случае Ми-10 или Ми-26), которые оборудованы одновременно двумя системами: 1) на внешнем, выносном кронштейне — траповым, фаловым или вантовым средством десантирования личного состава "крылатых пожарных" (8–12 чел.) на режиме висения в допустимой близости от очага пожара; 2) на внешней же подвеске — резервуаром ("бадьей") для забора воды на режиме висения (вместимостью $2,5\text{--}3 \text{ м}^3$). Эта бадья должна быть оборудована также сливным пожарным рукавом (лучше облегченным, капроновым, диаметром 75–80 мм), позволяющим не сбрасывать бессмысленно воду "запловым" или "растянутым" сливом в очаг пожара, а подавать ее на режиме висения недалеко от очага пожара с высоты 40–50 м в распределительную систему по 8–12 пожарным облегченным полимерным рукавам условного диаметра $d_y \approx 20\text{--}25 \text{ мм}$ — для управляемой подачи воды "вручную" с земли десантированным перед этим звеном "крылатых пожарных" (рис. 1 и 2).

Наконец, для более эффективного тушения (или, по крайней мере, гарантированной локализации, остановки распространения фронта верхового пожара) вертолет должен быть дооборудован водяным насосом и 2–3 управляемыми лафетными стволами с суммарным расходом воды порядка 40–50 л/с под напором 1–2 атм для управляемой, регулируемой подачи воды на режиме висения или барражирования

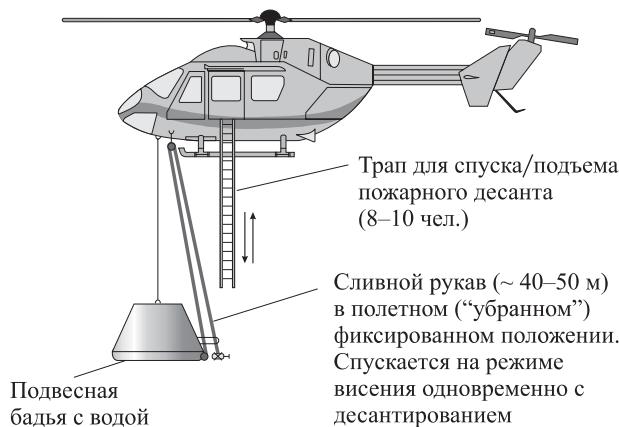


Рис. 1. Схема десантирования пожарных (уже существующая во многих вариантах) и крепления сливного рукава для управляемой, регулируемой подачи воды в очаг пожара на режиме висения

вдоль фронта верхового пожара. Этот последний, наиболее сложный вариант тактики тушения практически “нетушимых” (в профессиональном понимании этого термина) пожаров требует специальных летных испытаний и отработки навыков такого тушения, согласованного с летными и тактическими возможностями современных вертолетов. Это необходимо, чтобы избежать опасности возникновения ситуации, когда глохнет двигатель от попадания дымовых газов и продуктов сгорания в его воздухозаборник и вертолет падает на горящий лес даже в

режиме авторотации. Кроме того, требуется отработка навыков наиболее эффективного режима тушения или, по крайней мере, локализации по фронту и с флангов этих страшных, быстро распространяющихся, “не тушимых” на сегодня нигде в мире пожаров.

Создание этого нового вида пожарной техники, придание ей новых функциональных и тактических возможностей позволит получить принципиально новую, высокоэффективную стратегию и тактику тушения лесных пожаров на самой ранней стадии их возникновения, особенно в наиболее пожароопасных регионах в самые пожароопасные периоды года.

Преимущества предлагаемого способа и технологии тушения лесных пожаров перед всеми известными ранее способами и методами борьбы с уже возникшими пожарами обеспечиваются совокупностью следующих основных условий:

1. Раннее обнаружение начальных очагов пожара за счет периодического облета, сканирования, регулярного мониторинга подконтрольных территорий, особенно в наиболее пожароопасные периоды (4-й и 5-й категорий опасности), в состоянии полной боевой готовности: с людскими резервами, с запасом огнетушащих средств и пожарной техники для управляемой, регулируемой подачи воды в очаг пожара.

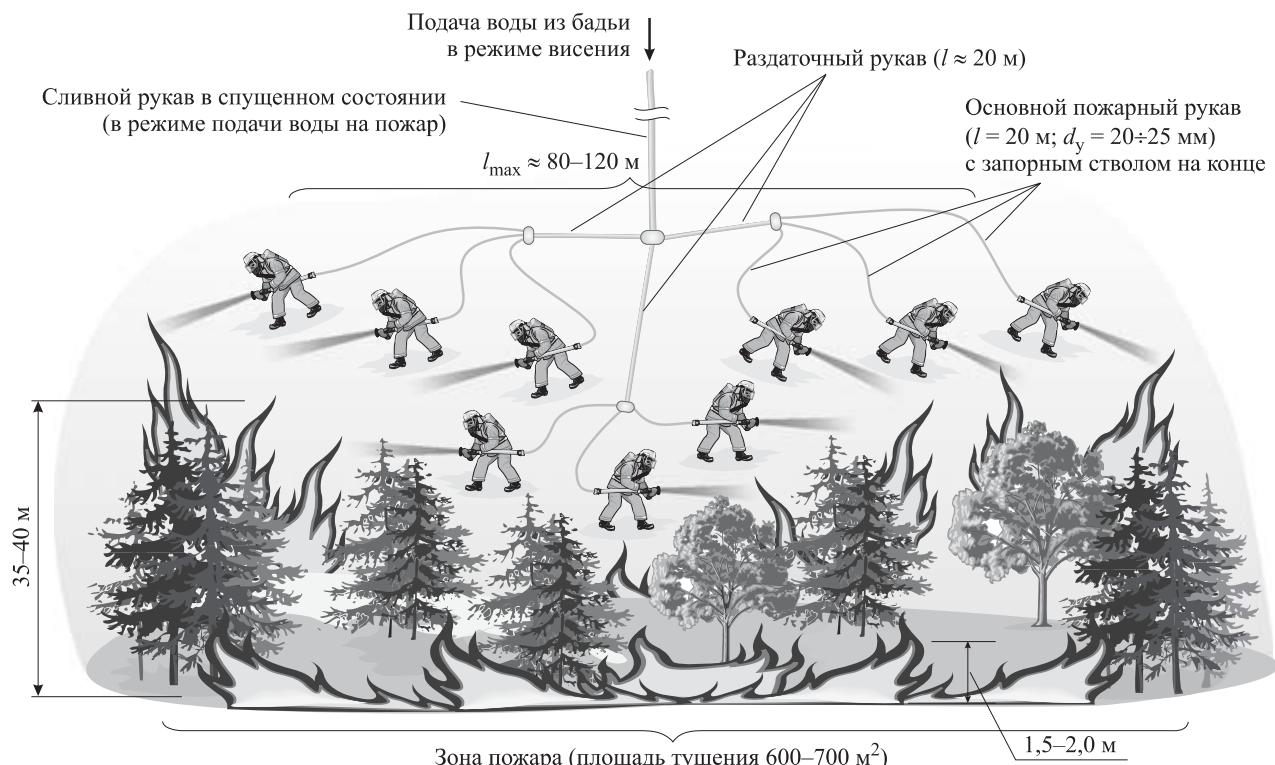


Рис. 2. Схема управляемой, регулируемой подачи воды в режиме висения пожарного вертолета на тушение лесного низового пожара вручную “крылатыми пожарными”, с обратной связью и запасом воды 200–250 л на каждого бойца

2. Сведение к минимуму потерь времени на доставку сил и средств на тушение пожара на самой ранней стадии его развития (с затратами времени только на подлет и управляемый спуск — механизированное десантирование боевого подразделения к фронту работ по тушению пожара).

3. Обеспечение этого подразделения запасом огнетушащих средств (и устройств для их регулируемой, управляемой подачи во фронт пожара) в количестве 200–250 л воды на каждого ствольщика, т. е. в 10–12 раз больше, чем было у советских “крылатых пожарных”, сбрасываемых в глухую тайгу, иногда в сотнях километров от мест базирования, и без всякой технической поддержки, технических средств и пр., с запасом 20 л воды в заплечном ранце и саперной лопаткой для “окапывания” горящего леса в непроходимой тайге (правда, на вооружении еще оставалось “захлестывание” и “затаптывание” огня сапогами...).

4. Возможность дополнительного многократного подвоза воды в количестве 2,5–3,0 т и подачи ее под напором 4–5 атм на режиме висения с интервалом 10–15 мин (!) (в зависимости от плеча полета до водоема) или непрерывного подвоза в случае тушения звеном из 2–3 вертолетов (до полного тушения очага пожара).

5. Возможность механизированного (или за счет собственных усилий бойцов) подъема всего подразделения на борт вертолета (в течение нескольких минут) после завершения боевой работы по ликвидации очага пожара и возврат на базу вылета или переброска на другой очаг пожара в течение 10–15 мин (в зависимости от боевой обстановки) вновь в полной боевой готовности.

По данным [27] ФГУ “Авиалесоохраны” “...в ближайшее время планируется набрать отряд численностью 280 человек. Этот отряд будет помогать наземным силам ликвидировать пожары в Подмосковье. Также планируется создать еще один отряд из 650 человек, которые с апреля по ноябрь будут выезжать на тушение лесов в регионы России”. И далее: “...в отличие от обычных пожарных... десантники и парашютисты ориентированы на ликвидацию огня в лесах, знают все тонкости тушения таких пожаров. А отличаются они друг от друга лишь тем, что первые спускаются к месту ЧП с вертолетов со специальным шнуром, а вторые прыгают с парашютом”. Там же: “К слову, в настоящее время такие специализированные отряды — всего около 2500 человек — работают в 34 субъектах РФ” [27], т. е. всего порядка 3500 чел. “крылатых пожарных”, не считая летного состава экипажей самолетов и вертолетов и плюс сотни человек технического состава, обслуживающего эту авиатехнику!

Да, такой численности “крылатых пожарных” (плюс тысячи уже работающих в этой службе) при

обеспечении их 150–200 вертолетами для управляемой, регулируемой подачи воды по пожарным рукавам на режиме висения достаточно, чтобы обеспечить новой, модернизированной технологией тушения пожаров в самой начальной стадии их развития на всей лесной территории России.

Предлагаемая техника и тактика тушения лесных пожаров даст возможность в сотни раз повысить эффективность борьбы с лесными пожарами на самой ранней стадии их развития (в том числе благодаря увеличению запаса воды в распоряжении “крылатых пожарных”, резкому повышению коэффициента ее использования за счет регулируемого, управляемого способа подачи ее в очаг пожара, резкого сокращения времени свободного развития пожара и, соответственно, уменьшения в десятки раз площади очага горения). В случае реализации этой тактики она вполне может быть названа русским способом тушения лесных пожаров. К сожалению, этого не понимают и не признают специалисты по тушению лесных пожаров МЧС РФ, а тем более специалисты по тушению лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Рослесхоза) и ФГУ “Авиалесоохраны” [28].

При разумном зонировании лесных массивов России, почти 500-километровой дистанции базирования отрядов вертолетной пожарной охраны, крейсерской скорости полета современных вертолетов порядка 240–250 км/ч (с временем полета вертолета 1 ч в каждую сторону охраняемой территории), численности вертолетного звена 2–4 машины на защиту всей лесной территории страны потребуется всего порядка 100–150 таких модернизированных боевых машин.

Учитывая, что 1 ч полета вертолета в 3–4 раза дороже 1 ч эксплуатации самолетов (особенно таких классических ветеранов отечественной авиации, как Ан-2) для мониторинга лесных массивов, особенно на огромных просторах Сибири, можно временно по-прежнему использовать самолеты, но только для мониторинга лесных массивов в целях раннего обнаружения очагов лесных пожаров. До наступления в России времен более широкого внедрения (за счет совершенствования параметров системы визуального наблюдения) космических систем слежения за очагами возгорания в бескрайних просторах российского “национального богатства”. (Но ни в коем случае — не для издевательского десантирования героических “крылатых пожарных” в таежную глухомань!)

Принятие на вооружение в системе Рослесхоза вертолетов Ми-17 в новом качестве (на первых порах хотя бы в количестве 100–150 ед., а с учетом необходимого резерва — 200 ед.), во-первых, вдохнет новую жизнь в отечественное авиастроение, особенно в Казанский вертолетный завод (если его еще

не развалили окончательно), а во-вторых, резко повышит объемы продаж таких модифицированных вертолетов за рубеж.

В европейских странах, таких как Италия, Испания, Португалия, Греция и даже Германия и Франция, во многих Скандинавских странах, где “плечо полета” от “воды до воды” всего 50–100 км, время полета за пополнением запаса воды составляет порядка получаса. А с учетом возможности забора воды вертолетом на режиме висения практически из любого открытого водоема диаметром более 20–25 м и глубиной более 2–2,5 м, расстояние между которыми в большинстве регионов мира менее 5–10 км, время полета на дозаправку вертолета водой сокращается до 10–15 мин. В этом случае такая технология тушения пожаров даст вообще ни с чем не сравнимые результаты. В конце 80-х – начале 90-х гг. итальянские специалисты готовы были закупить в СССР сразу несколько десятков таких вертолетов

для тушения лесных пожаров ценнейших альпийских пород леса, но не соглашались субсидировать доработку и модификацию наших прекрасных вертолетов Ми-17. А наш Минавиапром также не нашел на это денег. (Да и проблема лесных пожаров в те годы не стояла так остро: 1972 г. уже прошел и был забыт; об опасности его повторения не думали, и идея, не поддержанная Министром Минавиапрома И. С. Силаевым, так и погибла, оказавшись невостребованной.)

Может быть, сегодня в России наступают более подходящие для инновационных разработок времена, с привлечением для этих работ ЛИИ им. М. М. Громова (г. Жуковский) и Казанского вертолетного завода (и без Сколкова)? Это позволило бы спасти российские леса от пожаров даже в “жаркие” годы и стимулировало бы замечательное российское вертолетостроение с перспективой широкого экспорта наших вертолетов во многие страны мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной кодекс Российской Федерации : Федер. закон № 200-ФЗ от 04.12.2006 : принят Гос. Думой 08.11.2006 : одобр. Сов. Федерации 24.11.2006 : введ. 01.01.2007 // Российская газета. — 2006. — 8 декабря. — № 277 ; Собр. законодательства РФ. — 2006. — № 50. — Ст. 5278.
2. Абдурагимов И. Проблемы борьбы с лесными пожарами в России (и всех лесообильных странах мира). (“Кто виноват” и “Что делать”) // Пожарное дело [Интернет-журнал]. — 2010.
3. Черкасова Е. Что первично: “бычки” или чиновники? “Гринпис” и Рослесхоз разошлись во мнениях по поводу пожаров // МК. — 2011. — 4 июня. — № 121 (25.659).
4. Ярошенко А. Синдром красного петуха // МК. — 2010. — 24 ноября. — № 260 (25.507). — С. 1; 7.
5. Замахина Т. Площадь лесных пожаров занижена в шесть раз? // МК. — 2011. — 17 августа. — № 183 (25.721).
6. Абдурагимов И. Проблема тушения крупных лесных пожаров и крупномасштабных пожаров твердых горючих материалов в зданиях // Пожарное дело [Интернет-журнал]. — 2010.
7. Абдурагимов И. Несостоятельность идеи применения тонкораспыленной и “термоактивированной” (перегретой) воды для целей пожаротушения // Пожарное дело [Интернет-журнал]. — 2011 ; Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 54–58.
8. Абдурагимов И. Еще раз о государственной проблеме тушения крупных лесных пожаров (в России и во всем мире) // Пожарное дело [Интернет-журнал]. — 2011.
9. Абдурагимов И. Новый эффективный способ тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 5. — С. 41–51.
10. Фочкин О. На стихию напускают туман // МК. — 2010. — 5 августа. — № 171 (25.418).
11. Фочкин О. Зачем МЧС миллиарды // МК. — 2010. — 24 ноября. — № 260 (25.507).
12. Розензафт А. Россияне залили Израиль // МК. — 2010. — 6 декабря. — № 270 (25.517).
13. О добровольной пожарной охране : Федер. закон № 100-ФЗ : принят Гос. Думой 20.04.11; одобр. Сов. Федерации 27.04.11 // Российская газета. — 2011. — 11 мая. — № 98 ; Собр. законодательства РФ. — 2011. — № 19. — Ст. 2717.
14. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Российская газета. — 2008. — № 163 ; Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30.
15. Тетерин И. Температурно-активированная вода — новая парадигма развития техники пожаротушения // Индустрия безопасности [сайт] : Средства спасения. Противопожарная защита [Интернет-журнал]. 2005.
16. Копылов С. Технические средства борьбы с лесными пожарами. Возможность совершенствования и дальнейшее их развитие : доклад на XXIII Междунар. конф. “Актуальные проблемы пожарной безопасности” (17 мая 2011). — М., 2011.

17. Абдурагимов И. Критерий тушения пожаров охлаждающими огнетушащими средствами // Журнал ВХО им. Д. М. Менделеева. — 1982. — XXVII. — С. 11–17.
18. Абдурагимов И. Анализ механизмов огнетушащего действия современных средств пожаротушения // Журнал ВХО им. Д. М. Менделеева. — 1986. — XXI. — Т. 4. — С. 18.
19. Абдурагимов И. и др. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980.
20. Абдурагимов И. Механизм огнетушащего действия средств пожаротушения : сборник статей по физике и химии горения и взрыва. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.
21. Абдурагимов И. Пожары нельзя разбомбить (особенно лесные и торфяные) // Пожарное дело [Интернет-журнал]. — 2010. URL : http://dibase.ru/article/27112010_abduragimoviosifmikaelevich_6647/1.
22. Абдурагимов И. О нормативном времени тушения ординарных внутренних пожаров ТГМ // Пожарное дело. — 2007. — № 8.
23. Абдурагимов И., Однолько А. Опасности лесных пожаров // Наука и жизнь. — 1993. — № 2.
24. Абдурагимов И. Новая концепция борьбы с лесными пожарами // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1991. — Вып. 2. — С. 25–54.
25. Абдурагимов И. Пока что тушим как умеем // Лесная газета. — 1992. — 26 сентября. — № 112 (8633).
26. Калинина Ю. Пожарные живут по заветам Аристотеля // МК. — 2011. — 29 июня. — № 141 (25.679).
27. Огнеборцы спускаются в леса с небес : рубрика “Срочно в номер” // МК. — 2011. — 7 сентября. — № 201 (25.739).
28. Современные технологии мониторинга и тушения лесных и торфяных пожаров : рабочие материалы семинара. — Москва, МВЦ “Крокус Экспо”, 15 сентября 2011 г.

Материал поступил в редакцию 29 сентября 2011 г.

Электронный адрес автора: ptm01@bk.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

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

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

**А. Л. Душкин**

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
старший научный сотрудник Научно-исследо-
вательского центра новых технологий МАИ,
г. Москва, Россия

**С. Е. Ловчинский**

инженер Научно-исследовательского
центра новых технологий МАИ,
г. Москва, Россия

УДК 614.841

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ С ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Освещены результаты экспериментальных исследований по подавлению очага пламени горючей жидкости тонкораспыленной водой. Показано, что при ее применении реализуются два механизма тушения пламени горючей жидкости: уменьшение концентрации кислорода за счет замещения его паром и охлаждение при испарении капель в нем.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода; тушение; горючие жидкости; концентрация; интенсивность подачи.

В настоящее время эффективность применения тонкораспыленной воды (TPB) как огнетушащего вещества показана на многочисленных примерах успешного пожаротушения. Однако отсутствие нормативных требований по параметрам установок пожаротушения, таким как необходимая интенсивность подачи q ($\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), время тушения τ (с), диаметр капель d (мкм), затрудняет проектирование и использование таких средств пожаротушения. Особенно остро эта проблема стоит при тушении очагов возгорания в замкнутых пространствах при нахождении в них людей. На борту летательного аппарата, с которого эвакуация людей невозможна, подавление очагов пожара может производиться только с применением безопасной и экологически чистой технологии. По этой причине необходимо знать закономерности взаимодействия тонкораспыленной воды с очагом горения с целью определения времени его подавления или локализации τ и зависящего от него необходимого запаса воды (раствора) на борту при требуемом расходе q на единицу площади. Минимизация необходимого запаса воды для нужд пожаротушения — важнейшая задача, решение которой позволит повысить эффективность противопожарных систем на транспортных средствах.

Если тушение очагов возгорания твердых горючих материалов не вызывает сомнения у специалистов, то тушение легковоспламеняющихся жидкостей (бензин, керосин, масло и т. п.) неочевидно для большинства работников пожарной охраны. А участившиеся за последнее время террористические акты заставляют обратить особое внимание на проблемы подавления очагов горючих жидкостей в салонах и отсеках самолетов.

Теоретическое изучение взаимодействия тонкораспыленной воды с горящей жидкостью затруднено из-за недостаточности данных о физико-химических процессах, характерных для горения в условиях охлаждения поверхности горения и столба горючих газов мелкими каплями тонкораспыленной воды в условиях турбулентного перемешивания.

Экспериментальное изучение данного взаимодействия дает возможность определить наиболее приближенные к реальным условиям пожара параметры (q , τ , d), с тем чтобы определить необходимые характеристики противопожарных установок. Известные экспериментальные исследования технологии тушения тонкораспыленной водой [1, 2] не позволяют выявить необходимые параметры ее подачи на очаги возгорания для условий замкнутого пространства, а результаты экспериментальных испытаний различных фирм за рубежом неизвестны широкому кругу специалистов и носят локальный характер.

Экспериментальные исследования проводили в замкнутом объеме (кубе) размером $0,9 \times 0,9 \times 0,9$ м, из листовой нержавеющей стали с наружной теплоизоляцией, внутри которого была установлена цилиндрическая кювета диаметром 100 мм и высотой 20 мм для горючей жидкости и штатив для крепления форсунки. Пространство внутри куба сообщалось с атмосферой через отверстие диаметром 20 мм, так что степень негерметичности не превышала $1,3 \cdot 10^{-4}$. Взаимное расположение цилиндрической кюветы 1 и форсунки 2 представлено на рис. 1.

Наблюдение за процессом взаимодействия осуществлялось через два кварцевых окна диаметром 150 мм.

© Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., 2011

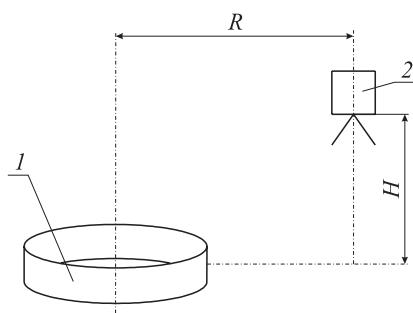


Рис. 1. Взаимное расположение кюветы (1) и форсунки (2)

Форсунка была выполнена по двухконтурной схеме с двумя соосными центробежными шнековыми завихрителями. Внешняя ступень служила для подачи воздуха, внутренняя — воды под давлением. Такая форсунка генерировала капли диаметром d в широком диапазоне — от 6 до 180 мкм в зависимости от давления подачи, соотношения расходов фаз и выбора контура для работы. Диаметр капель определяли на отдельном стенде, описанном в работе [1], с помощью оптического дифракционного прибора “Malvern Spraytec System”. В эксперименте был принят среднеарифметический диаметр $d = D_{[1,0]}$. Распределение размеров капель по пространству распыления при осевом расстоянии $H = 200$ мм представлено на рис. 2. При работе только жидкостной ступени форсунки давление подачи ΔP составляло 3...6 МПа, а при работе ее в газожидкостном режиме — 0,3...1,5 МПа.

В качестве горючей жидкости использовался гептан. Мощность тепловыделения в огневых экспериментах составляла ~25 кВт.

В экспериментах изучали два типа пожаротушения — объемное, характерное для газового пожаротушения, и объемно-поверхностное. Объемное пожаротушение предусматривает заполнение всего защищаемого объема мелкими каплями воды $d < 100$ мкм, а объемно-поверхностное осуществляется путем подачи капельного потока воды на очаг горения, в данном случае на кювету с гептаном. В нашем случае

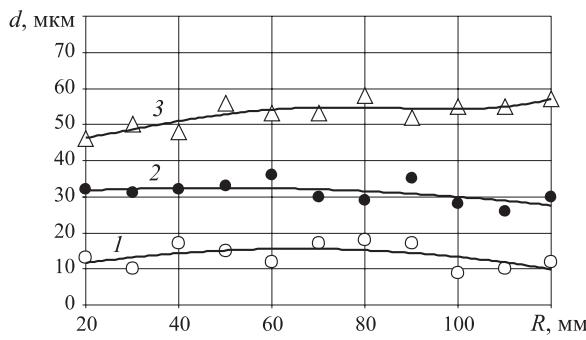


Рис. 2. Распределение диаметра капель по радиусу в пространстве распыления: 1 — газожидкостное; 2 — жидкостное, $\Delta P = 6$ МПа; 3 — жидкостное, $\Delta P = 3$ МПа

объемное пожаротушение моделировали путем установки среза форсунки ниже поверхности кюветы ($H \leq 0$), на радиальном расстоянии более 20 мм ($R \geq 20$ мм).

Эксперименты проводили по следующей методике.

Вначале через верхний люк в нержавеющем кубе устанавливали штатив с форсункой 2 в заданной точке пространства (R, H). Затем в кювету заливали гептан, который поджигали от внешнего источника, при этом отмечали время начала горения. Люк герметично закрывали. По истечении 2 мин свободного горения гептана регистрировали температуру внутри куба тремя термодатчиками и подавали воду на форсунку. Тушение пламени гептана определяли визуально через кварцевые окна и фиксировали время гашения. На последнем этапе открывали люк и вторично поджигали несгоревший гептан от внешнего источника с целью определения его наличия в кювете без разбавления водой. При горении гептана в течение 2 мин температура внутри куба поднималась до 70...80 °C в верхней части куба и до 50...60 °C — в нижней. При испытании по способу объемного тушения для наблюдения за пламенем в кювете 1 дополнительно использовали тепловизор фирмы “ThermaCAM S60”. Результаты эксперимента по объемному тушению, когда форсунка 2 располагалась ниже поверхности горящего гептана в кювете 1, представлены на рис. 3.

Из представленной зависимости видно, что необходимая для тушения концентрация капель M резко возрастала с увеличением их диаметра. Для капель диаметром 6...8 мкм требуемая концентрация лежала в диапазоне 0,2...0,4 кг/м³. При этом концентрацию определяли, как и для огнетушащих газов, по выражению

$$M = G\tau/V, \quad (1)$$

где G — расход жидкости, кг/с;

V — защищаемый объем, м³;

τ — время тушения, с.

Осаждение капель за время воздействия на ограждающие стенки куба не учитывалось. Рассчитанные значения требуемой минимальной концентрации

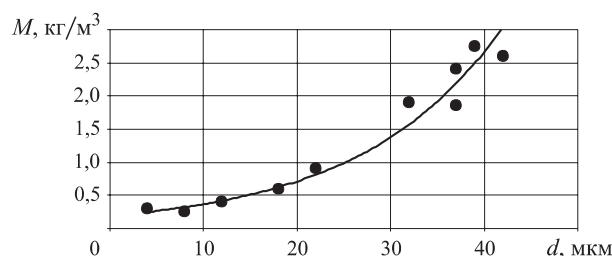


Рис. 3. Требуемая концентрация капель M при объемном тушении гептана

мелких капель соответствовали значениям для водяного пара ($0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$) и фреонов ($0,3 \dots 0,52 \text{ кг}/\text{м}^3$) и были меньше, чем для углекислого газа CO_2 ($0,7 \text{ кг}/\text{м}^3$). Полученная зависимость справедлива для тушения чисто жидкостным капельным потоком, который генерировался без использования воздуха для дробления жидкости. При применении газового дробления в газожидкостной форсунке необходимая концентрация капель возрастала почти в два раза при том же размере капель даже при соотношении расходов газа и жидкости, не превышающем 15 %. Это объясняется подачей кислорода воздуха в защищаемый объем газожидкостной форсункой. Во всех экспериментах после подавления горения температура в экспериментальной камере не превышала 25°C , а время тушения — 3 мин.

Эксперименты по тушению пламени гептана непосредственной подачей ТРВ на поверхность горения ($H \gg 0$) и восходящий поток горячих газов проводили по следующей методике. Сначала перед заливом гептана в кювету 1 в намеченных точках пространства распыления (H, R) определяли интенсивность подачи ТРВ q путем запуска форсунки на определенное время (10 с). Интенсивность подачи q рассчитывали по формуле

$$q = m/(tS), \quad (2)$$

где t — время подачи ТРВ, с;

m — масса жидкости, г;

S — площадь кюветы, м^2 .

Огневые эксперименты проводили, как и ранее, только с открытым люком, степень негерметичности при этом составляла $\sim 12\%$. Результаты экспериментов по объемно-поверхностной технологии тушения представлены на рис. 4.

Крупные капли диаметром более 60 мкм были получены при использовании внешнего контура форсунки без добавления газа на дробление. Как и в случае объемного тушения, с увеличением среднего размера капель d необходимая интенсивность подачи возрастала. Особо следует отметить, что время тушения по данной технологии не превышало 10...12 с.

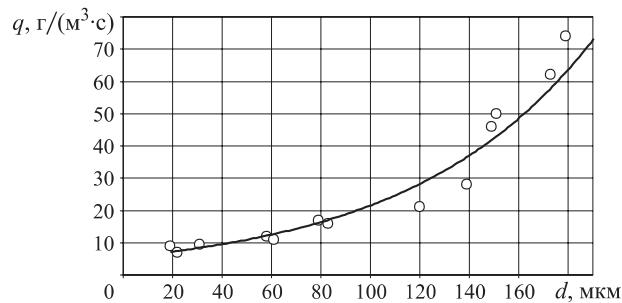


Рис. 4. Требуемая интенсивность подачи при объемно-поверхностном тушении гептана

В общем случае интенсивность подачи q и средний размер капель не определяют способности распыленной струи тушить данный очаг возгорания в основном из-за взаимодействия капель воды с восходящим от очага потоком газообразных продуктов горения. Поток восходящих горячих газов может оттеснить мелкие капли от очага, если скорость последних невысока по сравнению со скоростью продуктов горения.

Представленные экспериментальные зависимости получены при начальных скоростях истечения из насадка $W_0 = 83 \dots 105 \text{ м}/\text{с}$, что соответствует перепаду давления для гидравлического распыления $\Delta P = 3,5 \dots 6,0 \text{ МПа}$. Такие скорости значительно выше скорости отходящих от очага газов ($\sim 10 \text{ м}/\text{с}$).

Дальнейшие исследования позволят более детально выявить требования к струе тонкораспыленной воды, необходимые для тушения очагов горения горючих жидкостей. Особенно это важно при объемно-поверхностном способе тушения, при котором осуществляется непосредственное взаимодействие потоков тонкораспыленной воды и пламени.

В результате исследований определены условия успешного подавления горения высокоенергетических горючих жидкостей типа гептана (бензин, керосин, масла и т. п.) струей тонкораспыленной воды как для объемного способа тушения, так и для объемно-поверхностного. Для конкретных условий и помещений параметры огнетушащих установок могут уточняться на базе полученных зависимостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Карпышев А. В., Душкин А. Л., Рязанцев Н. Н. и др. Разработка высокоэффективного универсального огнетушителя на основе генерации струй тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 2. — С. 69–73.
- Гаев Д. В., Ершов А. В., Прохоров В. П., Карпышев А. В., Душкин А. Л. и др. Система противопожарной защиты салона вагона метрополитена на базе высоких технологий // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009. — № 3. — С. 67–72.

Материал поступил в редакцию 27 сентября 2011 г.
Электронный адрес авторов: Lovchinskiy@inbox.ru.

О НЕКОТОРЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ СТАТЬИ “ОПИСАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ ПЕРКОЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ”

**Д-р техн. наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ
А. А. Таранцев**

В журнале “Пожаровзрывобезопасность” № 8 за этот год напечатана статья Ф. А. Абдулалиева и Ю. Д. Моторыгина “Описание развития пожара с помощью перколяционных моделей” [1]. В ней на основе перколяционного подхода показана возможность исследования развития пожара в населенном пункте на примере деревни с деревянными и бетонными строениями (см. рис. 10 [1]) и динамика развития пожара в течение 300 мин.

Согласно рассматриваемому подходу деревня условно разделяется на большое число участков (узлов), которые могут находиться в нескольких состояниях (согласно рис. 6 [1] — в четырех: *источник зажигания, режим плавления (?), режим пламенного горения и полное затухание*). При этом вводится понятие вероятности распространения пожара от одного узла к другому. Это, по мнению авторов, позволяет определить время τ ([1], с. 30) нахождения узла в каждом состоянии и оценить тем самым динамику пожара, т. е. его развитие во времени в деревне — последовательность возгорания и выгорания строений (см. рис. 9, 10 [1]).

В связи с этим хотелось бы отметить следующее. Безусловно, проблемы, связанные с пожарами в сельских населенных пунктах, являются актуальными на протяжении всего исторического периода и с особой остротой встали для центральной части России летом прошлого, да и нынешнего года. Разумеется, вопросам тушения пожаров всегда уделялось большое внимание: этому посвящены целые разделы пожарной тактики от дореволюционных [2] и советских изданий [3] до современных российских [4, 5]. В ранее действовавшем Боевом уставе пожарной охраны (БУПО) и в сменивших его Методических рекомендациях [6] данной теме посвящена целая глава “Тушение пожаров в сельских населенных пунктах”, а в ППБ 01–03 [7] — раздел II “Населенные пункты”. Более того, были разработаны специальные Рекомендации [8], а также ряд других документов.

Красной нитью всегда и везде проходит мысль, что пожар в сельской местности нужно начинать тушить как можно быстрее — либо силами ГПС, либо

добровольными пожарными формированиями, либо на начальном этапе силами самих граждан (для этого в садоводствах и на территории дачных участков должны предусматриваться здания и сооружения для хранения средств пожаротушения и противопожарные водоемы или резервуары [9]). Кроме того, “Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности” [10] жестко регламентируется время прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова в сельской местности — до 20 мин, а СП 11.13130.2009 [11] — определение числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны. Для успешного тушения пожаров в сельской местности в обязательном порядке должны составляться планы привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны [12]. Статистические данные за 2006–2010 гг. свидетельствуют о том, что среднее время прибытия первых подразделений лежит в приемлемых пределах [13].

В противном случае, т. е. при отступлении от требований нормативных документов, будем иметь огромный материальный ущерб, человеческие жертвы, негативные социально-психологические и экологические последствия с соответствующим реагированием со стороны общественности и прокуратуры.

Возвращаясь к статье уважаемых авторов, что же видим? С помощью *перколяционного метода* моделируется выгорание населенного пункта (деревни) в течение 300 мин (см. рис. 10 [1]). Другими словами, в течение 5 часов (!) не предпринимается никаких действий по тушению пожара ни пожарной охраной, ни добровольными пожарными формированиями, ни местными жителями — никем! Здесь не нужно самых современных математических методов, чтобы понять: сгорит все. А если что случайно и останется, то будет практически непригодно для проживания или использования по назначению. Свидетельством тому являются события прошлогоднего лета. Бесконтрольное выгорание населенного пункта — это не столько тема научного исследования, сколько компетенция прокуратуры: почему за такое время вопреки всем нормативным документам не предпринято никаких мер по предотвращению огромно-

го материального ущерба, сохранению жилищ, здоровья (а может, и самой жизни) людей.

Ко всему прочему, есть некоторые вопросы, касающиеся и самого перколяционного метода. Например, как и с какой точностью находятся вероятности переходов $\{p_i\}$ и $\{q_i\}$ на графе состояний на рис. 6 [1]? Но это уже частности.

В заключение хотелось бы порекомендовать авторам уделить внимание действующим нормативным документам и тактике тушения пожаров в сельской местности, после чего доработать перколяционный

подход с учетом действий пожарных подразделений. Однако, по моему убеждению, проблема заключается не столько в моделировании развития пожара в населенных пунктах, сколько в строгом соблюдении противопожарного законодательства — от источников достаточного водоснабжения, противопожарных разрывов и пожарно-технического вооружения на местах до необходимого числа пожарных частей (т. е. своевременного прибытия пожарных подразделений [13]) и эффективных действий по тушению пожара на ранней стадии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулалиев Ф. А., Моторыгин Ю. Д. Описание развития пожара с помощью перколяционных моделей // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 8. — С. 25–33.
2. Пожарная тактика. Правила тушения пожаров в вопросах и ответах. — СПб. : Тип. Т-ва М. О. Вольфъ, 1907.
3. Пожарная тактика : учебник / Под ред Я. С. Повзика. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1984.
4. Теребнев В. В. Пожарная тактика. Понятие о тушении пожара. — Екатеринбург : Изд-во "Калан", 2010.
5. Решетов А. П., Башаричев А. В., Клюй В. В. Пожарная тактика : учебное пособие / Под общ. ред. В. С. Артамонова. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2011.
6. Методические рекомендации по действиям подразделений федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ : утв. письмом ЦРЦ МЧС России от 22.06.10 № 5427-5-1-2*. — М., 2011. — 112 с.
7. ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации : утв. приказом МЧС РФ от 18.06.2003 № 313 ; зарег. в Минюсте РФ 27.06.2003, рег. № 4838 // Российская газета. — 2003. — № 129.
8. Рекомендации по организации пожаротушения в сельской местности : утв. 26.12.2000 ГУГПС МВД России : введ. 26.12.2000. — М.: ФГУ ВНИИПО МВД России, 2001.
9. СП 53.13330.2011. Планировка и застройка территорий садоводческих (дачных) объединений граждан, здания и сооружения : утв. приказом Минрегиона РФ от 30.12.11 № 849 ; введ. 20.05.11. — М. : ОАО "ЦПП", 2011.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 04.07.2008 ; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Российская газета. — 2008. — № 163.
11. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения : утв. приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 181 ; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
12. Порядок привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, гарнизонов пожарной охраны для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : утв. приказом Министра МЧС от 05.05.2008 № 240 ; введ. 05.05.2008 ; зарег. в Минюсте РФ 29.05.08, рег. № 11779 // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4 ; Бюлл. нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2008. — № 26.
13. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 42–48.

* В настоящее время действует приказ Министра МЧС от 31.03.11 № 156 "Правил тушения пожаров подразделениями пожарной охраны" (зарег. в Минюсте РФ 09.10.11, рег. № 20970).



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, а/я 43
тел./факс: (495) 228-09-03, 737-65-74
e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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

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

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

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

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

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

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

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

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

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

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

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

ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ноябрь 2011 г.

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
НОВИНКИ			
Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!			
	Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	Электронная версия	500
	Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с.		220
Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.	Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения безопасности объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	380
Корольченко А. Я.	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	350
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	250
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2011. — 320 с.	978-5-91444-021-X	350
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огне- и биозащиты. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.	БЕСПЛАТНО	
Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	140
Пилигин Л. П.	Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	450
Смелков Г. И.	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	540
Черкасов В. Н., Зыков В. И.	Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: ученое пособие. — 2010. — 430 с.	978-5-91444-020-3	470
Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; Ч. 2. — 300 с.	978-5-91444-008-1	950
СУПЕРСКИДКИ			
Собурь С. В.	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
Собурь С. В.	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Собурь С. В.	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	220
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
Бондарь В. А.	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
Брушлинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
Грачев В. А., Собурь С. В.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник; в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	2500
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	540
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
Пилигин Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушиный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Организация службы пожарной части: учебное пособие. — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	460

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушиный А. В., Грачев В. А.	Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	330
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

ООО “Издательство “Пожнаука” объявляет подписку на 2012 г.

	Стоимость, руб.
1-е полугодие 2012 г.	
Обновленный полноцветный журнал “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров)	4950

Подписка осуществляется через следующие агентства:

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

Образец заявки для оформления заказа на литературу

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

Для БЕСПЛАТНОГО получения справочника “СРЕДСТВА ОГНЕ-И БИОЗАЩИТЫ”:

1. Заполните все поля анкеты:

Название организации	
Профиль деятельности	
Почтовый адрес (индекс)	
Контактное лицо	
Должность	
Телефон рабочий	Код ()
Факс	Код ()
Способ получения (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Наложенным платежом (Вы оплачиваете только стоимость пересылки из г. Москвы до вашего города) <input type="checkbox"/> Курьером (по г. Москве) — стоимость 150 руб. <input type="checkbox"/> Самовывоз (со склада издательства “Пожнаука” в г. Москве)
Откуда узнали о справочнике (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Из журнала <input type="checkbox"/> Из интернет-рассылки <input type="checkbox"/> На выставке <input type="checkbox"/> На сайте издательства <input type="checkbox"/> Другое

2. Пришлите анкету удобным для Вас способом — по факсу или электронной почте.

***Желающие сделать заказ в “Издательстве “Пожнаука” (г. Москва)
могут отправить заявку в отдел распространения:***

- по почте: 121352, г. Москва, а/я 43;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94;
- по e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

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

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

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

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

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

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

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

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

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Reference Points of Development of Nonstate Examination

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

Expert estimations of a current situation are given and tendencies of development of building examination in a direction of wide introduction of nonstate examination are designated.

Keywords: state examination; nonstate examination; technical regulation; “Technical enactment about safety of buildings and constructions”; “Technical enactment about requirements of fire safety”.

Ignition of Liquid Combustible and Highly Inflammable Substances by Typical Sources with Limited Energy Content

Strizhak P. A., Cand. of Physics-Mathematics,
Associated Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Analysis of state-of-the-art for theoretical investigations of physical and chemical processes at ignition of liquid condensed substances by local heating is carry out. Physical and mathematical models for ignition of big masses, thin films and single droplets of liquid combustible and highly inflammable substances by typical sources with limited energy content (metallic and nonmetallic particles, wires, focused fluxes of radiation) are presented. Possible directions of investigations and developments on the base of mathematical modeling for liquid condensed substances ignition at local heating are indicated.

Keywords: ignition; liquid combustible and highly inflammable substances; particle; wire; flux of radiation; fire dangerous.

Deterministic Component of Forest Fire Danger Forecast Technique for Unstated Reasons

Kuznetsov G. V., Dr. of Physics-Mathematics,
Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Baranovskiy N. V., Cand. of Physics-Mathematics,
Chief Lecturer, Doctoral Candidate of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Mathematical model of the forest fuel layer ignition by focused flow of sunlight is submitted. Flat statement of the problem in cartesian system of coordinates is considered. Ignition conditions of the forest fuel layer are established depending on intensity of radiation. Metho-

dological questions of the forest fire danger forecast for unstated reasons are discussed.

Keywords: ignition; forest fuel; chemical reaction; glass; focused sunlight; forecast.

Molecular Modeling of Detonation and Explosive Processes under the Theory of the Activated Complex

Lopanov A. N., Dr. of Technics, Professor,
Head of Department “Safety of Vital Activity”
of Belgorod Shukhov State Technology University,
Belgorod, Russia

The present paper offers a molecular model of explosive and detonating processes based on the activated complex theory (a transition state theory). It is demonstrated that bond breaking within a molecule of an explosive occurs not simultaneously but successively with the formation of various intermediate complexes. Formal decay schemes of a classical 2,4,6-trinitrotoluol explosive are presented, detonation speeds at different temperatures at the detonation wave front are calculated. It is shown that the main factor which influences the speed of a detonating process is the temperature at the detonation wave front. The design 2,4,6-trinitrotoluol detonation speed falls within the range of 7000–8000 m/s that conforms to the experimental value. It is shown that at the temperatures of 4000–4500 K qualitative and quantitative changes in the detonation mechanism take place. At the detonation wave front it is necessary to mark out limiting stages of the process, i. e. the time of particle (atoms) motion before the activated complex formation and the bond breaking time. The solution of the differential equations system of the kinetics process makes it possible to forecast a quantitative and qualitative composition of explosion products.

Keywords: activated complex theory; model of explosive and detonating processes; 2,4,6-trinitrotoluol decay speed; kinetics of accumulating explosion resultants.

Control of Dust Explosiveness the Mountain Making Coal Mines

Golin'ko V. I., Dr. of Technics, Professor,
Head of Department of National Mining University,
Dnepropetrovsk, Ukraine

Kotlyarov A. K., Cand. of Technics, Senior
Research Assistant of National Mining University,
Dnepropetrovsk, Ukraine

The analysis of existent methods and controls danger of origin of explosions of dust is executed in the mountain

making of mines. The method of control of explosive danger of making is grounded on results measuring of dust concentration in a mine atmosphere after the area of intensive dust deposit.

Keywords: explosiveness; dust; control; method; mountain making; mine.

New Strategy and Tactics of Extinguishing of Forest Fires

*Abduragimov I. M., Dr. of Technics, Professor,
Academician of NSAFS, Colonel of Internal Service,
Moscow, Russia*

It is shown that the problem of struggle against forest fires can be successfully solved in the new, Russian way of their extinguishing — at an early, initial stage of their development. It can be reached by combination of the Soviet way of “winged firemen” and the modernized Soviet helicopters Mi-17 or Ka-32 used in new quality, especially if to take into consideration that the helicopter park of only 100–150 cars, and number of “winged firemen” taking into account the rates of its increase declared

by Federal agency of a forestry of the Russian Federation for 2012 for this purpose is required, will make more than 3500 people.

Keywords: forest fire; extinguishing; strategy and tactics; helicopter; “winged firemen”.

Combustible Liquid Flame and Water Mist Interaction

*Dushkin A. L., Cand. of Technics, Leading
Research Fellow, Senior Research Worker
of Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia*

*Lovchinskiy S. Ye., Engineer of Moscow Aviation
Institute, Moscow, Russia*

The experimental research results on combustible liquid fire suppression by water mist are covered in this paper. It is shown that two mechanisms of combustible liquid flame suppression are realized: oxygen concentration decrease due to its vapour substitution and liquid surface and combustible gas cooling.

Keywords: water mist; suppression; combustible liquids; concentration; delivery intensity.

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

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

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

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

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюхантцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

профессор Т. Дж. Шилдс

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

Редакция:

Главный редактор журнала

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

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редактор
Л. В. Крылова

Chairman of Editorial Council:

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

Deputy of Chairman of Editorial Council:

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

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

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

Editorial Council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Professor Thomas Jim Shields

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

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editor
L. V. Krylova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94

121352, г. Москва, а/я 43

E-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 02.11.11.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

В связи с большим числом соискателей ученых степеней доктора и кандидата наук, статьи которых необходимо публиковать в журнале, входящем в Перечень ВАК, а также в целях улучшения качества журнала “Пожаровзрывобезопасность” редакцией принято решение об объединении журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”. **С января 2012 г. Вы увидите обновленный полноцветный журнал объемом 100 страниц**, в котором найдете все уже знакомые Вам рубрики.

Члены Редколлегии также выступили с предложением о публикации тематических номеров, первый из которых планируется посвятить проблемам нормирования в пожарной безопасности.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал *Пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ*

КУПОН '2012

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2012 г.)	4950		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 737 65 74 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810600000000119
БИК 044583119
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 737-65-74**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;

через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;

через агентство “АПР”, индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:

ООО “Интер-почтa”, ООО “Урал-Пресс XXI”,

ООО “Артос-ГАЛ”, ООО “Информнаука”, ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2012 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”. Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).

Приглашаем Вам принять участие в формировании облика обновленного журнала. Ждем Ваших предложений по тематике номеров и публикаций на волнующие Вас темы. Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!



Карточка учета сведений о подписчике

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

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ СЕКЦИЯ
В РАМКАХ КРУПНЕЙШЕЙ ВЫСТАВКИ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ И СНГ!**

ufi
Approved Event

mips2012

**24 - 27 АПРЕЛЯ 2012
МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»**



**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.
ОХРАНА ТРУДА**

(ПАВИЛЬОН 8, ЗАЛ 2)

- системы аварийно-пожарного оповещения
- автоматические системы пожаротушения
- системы жизнеобеспечения
- приборы приемно-контрольные пожарные
- извещатели пожарные
- огнетушители пожарные
- огнетушащие вещества
- огнезащитные и взрывозащитные материалы
- пожарная автоматика, роботы
- пожарный инвентарь и оборудование
- аварийно-спасательное оборудование
- спецодежда

Организатор:



Тел.: +7 (495) 935 7350
Факс: +7 (495) 935 7351
security@ite-expo.ru

При поддержке:



МВД России