

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

1'2010

Предложения по внесению изменений
в "Технический регламент о требованиях
пожарной безопасности" по результатам
правоприменительной практики

Методические рекомендации по определению
стоимости проведения независимой оценки
пожарного риска объектов защиты

Применение объемно-планировочных
и конструктивных решений для обеспечения
пожарной безопасности многофункциональных
общественных зданий



Теоретический анализ пространственного
распределения концентрации капель
водяной завесы

Математическое моделирование поведения
железобетонной балки во время пожара
при помощи метода конечных элементов

Оптимизация параметров потоков
тонкораспыленных огнетушащих веществ

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 19 • № 1 • 2010 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

Красавин А. В. Предложения по внесению изменений в "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" по результатам правоприменительной практики

Старков Н. Н., Жуйков Д. А., Триполицын А. А., Костин А. А. Методические рекомендации по определению стоимости проведения независимой оценки пожарного риска объектов защиты

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Иванов В. С., Фролов С. М. Математическое моделирование распространения пламени в гладких трубах и трубах с регулярными препятствиями

Поздеев С. В., Тищенко И. Ю. Математическое моделирование поведения железобетонной балки во время пожара при помощи метода конечных элементов

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Косачев А. А. Применение объемно-планировочных и конструктивных решений для обеспечения пожарной безопасности многофункциональных общественных зданий

Седнев В. А., Лысенко И. А. Вопросы защиты убежищ от теплового воздействия массовых пожаров в военное время

Котельников Р. В., Коршунов Н. А. Метеообеспечение в ИСДМ-Рослесхоз: проблемы и перспективы

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Душкин А. Л., Карпышев А. В., Сегаль М. Д. Оптимизация параметров потоков тонкораспыленных огнетушащих веществ

Виноградов А. Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы

Павленко А. В. Разработка системы автоматической противопожарной защиты на объектах комплексной подготовки газа с применением дренчерной системы пожаротушения и специальных фторсintетических пенообразующих пенообразователей

Котов С. Г., Круль Л. П., Котов Д. С. Создание белорусских твердотельных смачивателей для тушения пожаров

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

- 2 Krasavin A. V.** Suggestions to Introduction of Changes in a "Technical Enactment About Fire Safety Requirements" by Results of Law-Enforcement Practice
- 7 Starkov N.N., Zhiukov D. A., Tripolitsyn A. A., Kostin A. A.** Methodological Recommendations for Evaluation of Fire Risk Independent Estimation of Objects of Protection

FIRE MODELING

- 14 Ivanov V. S., Frolov S. M.** Mathematical Modeling of Flame Spread in Plain Tubes and in Tubes with Regular Hindrances
- 20 Pozdeev S. V., Tishchenko I. Yu.** Finite Element Simulation of Concrete Beam Behavior in a Fire Situation

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

- 27 Kosachev A. A.** Application of Volumetric-Planning and Constructional Decisions for Fire Safety Protection of Multifunctional Public Buildings
- 30 Sednev V. A., Lysenko I. A.** Questions of Refuge Protection from Heat Exposure of Mass Fires in the Time of War
- 34 Kotelnikov R. V., Korshunov N. A.** Meteorological Support of ISDM-Rosleshoz: Problems and Perspectives

FIRE EXTINGUISHING

- 39 Dushkin A. L., Karpyshev A. V., Segal M. D.** Optimization of Flow Parameters of Fine-Sprayed Fire Extinguishing Substances
- 45 Vynogradov A. G.** Theoretical Analysis of Spatial Distributing of Concentration of Drops of Aquatic Curtain
- 50 Pavlenko A. V.** Development of Automatic Fire Protection System at the Gas Complex Preparation Objects Using the Drencher System and Special Photosynthetic Film-Forming Foam Former
- 53 Kотов С. Г., Круль Л. П., Котов Д. С.** Creation of Belarusian Solid-State Penetrating Agents for Fire Extinguishing

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.



А. В. Красавин

канд. техн. наук, магистрант
Российской академии государственной
службы при Президенте РФ (РАГС),
г. Москва, Россия

УДК 614.811.6

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕСЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ В “ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ” ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРАВОПРИМЕНИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКИ

Анализируется актуальная проблема по совершенствованию “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности”. На основании результатов правоприменительной практики закона предлагаются конкретные изменения в “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”.

Ключевые слова: технический регламент, технические требования, расчеты по определению времени эвакуации людей.

Принятый в 2008 году Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее — Технический регламент) всколыхнул всю строительную и пожарную общественность. Удивление, возмущение, негодование — вот те чувства, которые возникли у заинтересованных людей при ознакомлении с ним, — не было только восторга. На авторов Технического регламента обрушилась волна неиссякаемой, чаще оскорбительной, нежели конструктивной критики.

Сегодня с момента принятия Технического регламента прошло уже почти полтора года, более полугода закон действует, и за это время Технический регламент не ругал, наверное, только ленивый, но мало что изменилось в лучшую сторону. Напрашивается справедливый вопрос: “Почему?”. Ответ очевиден: чтобы критика была плодотворной, акцент с обвинений необходимо было сместить на конструктивные предложения. Критика без предложений по улучшению Технического регламента бесполезна и мало кому интересна, а сами критики рискуют навлечь на себя праведный гнев авторов закона, не высыпавшихся в течение всего времени своего пра-вотворчества. Ведь конечной целью критики, как известно, является решение, помогающее изменить ситуацию. Необходимы конкретные предложения по устранению недостатков Технического регламента, которые помогут снять возникшие проблемы в его правоприменительной практике.

Ранее автор указывал (“Пожаровзрывобезопасность” № 9 за 2009 г.) на основные коррупционные

факторы, содержащиеся в законе; предлагал ознакомиться с результатами анализа юридической литературы, позволившими сформировать представление о том, каким Технический регламент должен быть с юридической точки зрения с учетом европейской практики технического регулирования и общепризнанных правил законодательной техники.

Согласно существующей практике разработки нормативных правовых актов технический регламент, возведенный в ранг закона, должен содержать не технические требования, устанавливающие точные параметры и характеристики продукции, а технико-юридические нормы, регламентирующие техническую деятельность людей и призванные обеспечить соответствие объектов технического регулирования предъявляемым к ним требованиям пожарной безопасности.

Одним из обязательных условий закона должно быть сопровождение каждого норматива оценкой соответствия, при этом должен обеспечиваться принцип единства оценки соответствия (ст. 3 Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ “О техническом регулировании” устанавливает необходимость соблюдения единства правил и методов оценки соответствия в целях обеспечения единства применения требований технических регламентов). Содержащиеся в законе нормы должны быть доказуемы опытным, эмпирическим путем, а методы оценки соответствия, т. е. методы доказательства выполнения нормы, должны быть проверяемы на пригодность. Кроме того, текст Технического регламента

должен быть ясным и доступным для понимания всех заинтересованных лиц; нормы закона должны быть изложены таким образом, чтобы обеспечивалось единообразное и однозначное их понимание.

Совершенно нелепо выглядит ситуация, когда одни и те же нормы Технического регламента, к примеру, в каком-либо субъектовом органе государственной экспертизы понимают и применяют по-своему, а в Главгосэкспертизе России — совсем по-другому. При этом проектное и строительное сообщество имеет свои многочисленные взгляды на правильность применения норм Технического регламента, как правило, не совпадающие с такими же многочисленными взглядами строительного и пожарного надзора!

Итак, имея на руках принятый Государственной Думой, одобренный Советом Федерации, подписанный и обнародованный Президентом Российской Федерации Технический регламент, представляется совершенно нецелесообразным и, даже более того, некорректным изобретать новый закон.

Однако с тем, что закон требует внесения изменений, причем изменений кардинальных, вероятнее всего, согласятся многие. Поэтому, взяв за основу действующий Технический регламент, предложим свое субъективное видение сложившейся ситуации, показав, какие изменения следовало бы внести в закон, чтобы если не достичь, то хотя бы приблизиться к однозначному и единообразному пониманию его норм и единству оценки их соответствия.

Во-первых, Технический регламент необходимо существенно сократить. Из закона следует исключить многочисленные классификации, занимающие в законе целых 11 глав, или 41 статью, перенеся их в документ добровольного применения, будь то свод правил или национальный стандарт. Учитывая, что Технический регламент содержит 152 статьи, исключение из закона 41 статьи, посвященной классификациям, сократит его почти на треть, при этом закон от этого не оскудеет, а вот путаницы станет меньше. В качестве примера можно привести классификацию взрывоопасных зон: в "Правилах устройства электроустановок" (далее — ПУЭ) она одна, а в Техническом регламенте совершенно другая. В этом случае проектировщики, руководствуясь привычной для них классификацией, установленной в ПУЭ, будут нарушать Федеральный закон, имеющий прямое действие на всей территории Российской Федерации (ст. 3 ФЗ "О техническом регулировании").

Во-вторых, закон не должен содержать точные технические требования, которыми он насыщен сегодня. В развитых странах мира выстраивается, как правило, многоступенчатая модель технического

регулирования. Президент или Правительство в странах Европы и Америки принимают "рамочный" закон, устанавливающий общие принципы в соответствующей сфере регулирования. В их компетенцию при принятии закона не входит (в отличие от депутатов Государственной Думы Российской Федерации и членов Совета Федерации) обсуждение вопросов относительно количества пожарных лестниц, ведущих на кровлю, высоты проходов на технических чердаках или расходов воды на наружное и внутреннее пожаротушение. Совершенно очевидно, что это вопросы соответствующего министерства, осуществляющего функции по выработке и реализации государственной политики, нормативно-правовому регулированию, а также по надзору и контролю в области пожарной безопасности, т. е. вопросы, находящиеся в компетенции МЧС России (Указ Президента Российской Федерации от 11.07.2004 № 868 "Вопросы МЧС России"). За рубежом данные вопросы и регулируются нормативными правовыми актами министерств или ведомств, что дает возможность при необходимости более мобильно вносить изменения в соответствующие документы. У нас же существующие сегодня чрезмерно детализированные требования к объектам технического регулирования в области пожарной безопасности, установленные в Федеральном законе, привели к невозможности реализации принципа соответствия технического регулирования уровню развития национальной экономики, ее материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития (ст. 3 ФЗ "О техническом регулировании").

Рассмотрим в качестве примера ситуацию с противопожарными расстояниями. В Техническом регламенте данному вопросу посвящена целая глава, включающая 6 статей и несколько таблиц в приложении, вследствие чего малейшее снижение установленных требований трактуется как нарушение Федерального закона.

Допустим, при невозможности в силу объективных причин соблюдения установленного в законе противопожарного расстояния между АЗС с наземными резервуарами и соседним складским зданием, где хранятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии (категория по пожарной опасности "Д"), существует только один законный способ решения вопроса — не строить АЗС. Все другие решения будут противозаконными. Согласование же отступлений в Специальных технических условиях (СТУ) от требований Федерального закона, принятого в соответствии с Конституцией Российской Федерации (ст. 105, 107), является противоправным и незаконным. Разве не противоречит здравому смыслу такое положение вещей, когда Федеральное Собрание в количестве 450 депутатов и

166 членов Совета Федерации приняло и одобрило Технический регламент, а представители федеральных органов исполнительной власти отступают от требований этого закона, ссылаясь на СТУ, институт которых отменен законом, за исключением случаев, когда на объекты отсутствуют нормативные требования по пожарной безопасности. Действительно, надо же на что-то ссылаться, когда нормы Технического регламента выполнить не удается, но и объект не построить нельзя, потому что речь идет уже не об АЗС, а, к примеру, о крупных нефтехимических и нефтеперерабатывающих комплексах, заказчиком которых является государство.

Технический регламент — это своего рода конституция по вопросам пожарной безопасности, в которой должны содержаться только самые основные требования, сформулированные в виде норм-принципов. Ведь в Конституции Российской Федерации не определен минимальный размер оплаты труда или прожиточный минимум, а указано на необходимость “создания условий, обеспечивающих достойную жизнь и свободное развитие человека” (ст. 7).

Быть может, тот же вопрос о противопожарных расстояниях целесообразнее было бы в “пожарной конституции” изложить в следующем виде:

Ст. №... “Противопожарные расстояния”.

1. При проектировании и строительстве объектов противопожарные расстояния следует принимать такими, чтобы обеспечивалось нераспространение пожара на соседние объекты.

2. В случае распространения пожара, повлекшего причинение вреда жизни и здоровью людей, ущерб чужому имуществу, виновное лицо несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

3. Методы оценки правильности принятых противопожарных расстояний и их рекомендуемые значения, а также противопожарные мероприятия, обеспечивающие возможность их снижения, устанавливаются в нормативных технических документах.

Аналогичным образом следовало бы сформулировать и другие требования пожарной безопасности, изложив их в виде норм-принципов, а методы оценки соответствия и рекомендации по их выполнению установить в нормативных технических документах.

Указанные изменения позволили бы существенным образом сократить Технический регламент и упростить жизнь людям, применяющим и выполняющим его. Однако, к сожалению, жизнь при этом упростилась бы не настолько сильно, насколько сократился бы Технический регламент. И дело здесь, главным образом, в том, что применяемые сегодня методы оценки соответствия принимаемых решений

требованиям норм чрезмерно сложны и громоздки. В частности, выполнение многих требований Технического регламента сводится к определению времени эвакуации людей из зданий и сооружений и доказательству того, что это время не превышает необходимое. Не менее значимы сегодня и расчеты по оценке пожарного риска, включающие в том числе и определение расчетного времени эвакуации людей. Следует отметить, что в России людей, способных качественно, с пониманием дела, выполнить данные расчеты, можно посчитать по пальцам, и ни для кого не секрет, что их выполнение по утвержденным методикам требует весьма глубоких познаний в самых разных отраслях науки. Оценить же правильность проведения расчетов пожарных рисков проверяющим лицам практически невозможно в силу сложности, трудоемкости и длительности данного процесса. Таким образом, доказать с использованием существующих методик выполнение тех или иных требований практически невозможно без лояльного отношения к представленным доказательствам (расчетам) должностных лиц органов исполнительной власти. Это, как известно, подталкивает правоприменителей к коррупционным действиям и не способствует формированию благоприятного инвестиционного климата в государстве.

Именно поэтому, по мнению автора, существующие методы оценки соответствия необходимо в значительной степени упростить с целью внесения ясности и обеспечения единого понимания того, как надо делать, чтобы это считалось правильным.

К тому же погрешности при использовании упрощенных методик, вполне возможно, будут ничуть не больше, чем при проведении расчетов опасных факторов пожара по интегральным, двухзонным или полевым моделям, а расчетов эвакуации — по аналитическим, индивидуально-поточным или имитационно-стохастическим моделям. Это объясняется тем, что достоверность получаемых с использованием данных моделей результатов в значительной степени определяется достоверностью принятых предположений, а о какой достоверности может идти речь при выборе места возникновения гипотетического пожара?

Созданные огромными усилиями сложные математические модели, предлагаемые специалистам для обоснования требуемого уровня безопасности различного рода объектов, все больше уводят нас в мир виртуальной реальности, слабо связанной с действительным положением дел. Как отмечается многими исследователями, причем не только в области обеспечения пожарной безопасности, но и в других отраслях, точность материалов, принимаемых в качестве исходных данных, настолько низка, что математические модели, построенные на их

основе, не более чем фикция (погрешность определения места возникновения пожара и т. п. — 100%). Таким образом, использование моделей с большим числом расчетных элементов, усиливающих неустойчивость счета и увеличивающих погрешность, становится весьма трудоемкой, длительной и очень затратной операцией при относительно невысокой точности прогноза эвакуации людей и воздействия на них опасных факторов пожара.

Таким образом, отсутствие надежной достоверной исходной информации о месте возникновения пожара, а также игра с невидимыми промежуточными значениями и коэффициентами (плотность и интенсивность эвакуации, токсичная и дымообразующая способность, количество и виды пожарной нагрузки и т. д.) с целью подогнать проводимый расчет под требуемый результат делают бессмысленным использование более сложных моделей для определения уровня обеспечения пожарной безопасности людей.

Никто не отрицает, что за моделированием будущее. Но в будущем. На сегодняшний же день уровень научно-технического развития, подкрепленный коррумпированностью лиц, принимающих решения и не желающих “просто так” соглашаться с результатами расчетов, полученных с помощью сложных моделей со множеством параметров, позволяет утверждать, что эра моделирования еще не пришла.

Здесь следует учитывать еще и наш российский менталитет, с которым наши люди с чистой совестью делают все не так, как надо по инструкции или регламенту, а так, как надо им, идя по пути наименьшего сопротивления. Наши специалисты на генетическом уровне не способны удержаться от того, чтобы не подтасовать принимаемые в расчетах параметры для достижения цели расчета, в результате чего складывается однозначное понимание, что без прозрачных, пусть менее точных, но простых методик не обойтись. Сопутствующие расчетам погрешности (причем по любым, как сложным, так и простым, методикам и моделям) при использовании упрощенных и понятных экспресс-методик будут с лихвой компенсироваться меньшим люфтом при принятии исходных данных, так как у недобросовестных исполнителей расчетов существенно снизится возможность “игры” с начальными параметрами и промежуточными значениями.

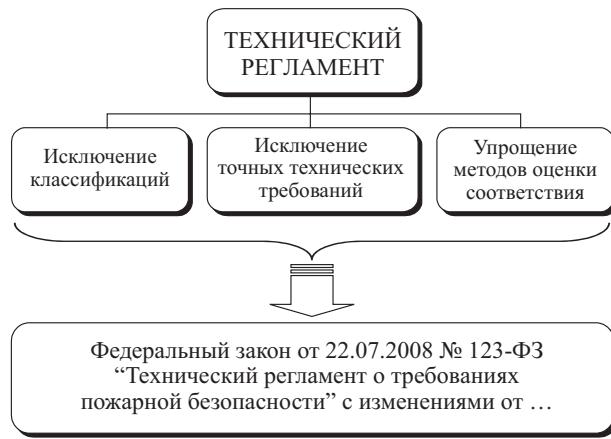
Еще один аргумент в пользу простых и доступных для понимания методик заключается в более реальной возможности использования их в качестве доказательной базы в судебных процессах. Здесь слабость существующих методик, использующих сложные модели для расчета времени эвакуации и времени наступления опасных факторов пожара,

заключается в том, что при проведении независимой экспертизы (соответствия/несоответствия) расчета, выполненного по сложным моделям с большим числом расчетных элементов, результат экспертизы во многом определяется субъективными оценками независимых экспертов.

При использовании простых методик данный фактор в значительной степени нивелируется, в первую очередь, за счет того, что, какой бы специалист ни проводил независимую экспертизу, результат будет одинаковым, так как все расчетные операции лежат на поверхности и доступны не ограниченному контингенту лиц, а широкому кругу грамотных проектировщиков и инженеров.

Ведь согласитесь, совершенно нелогичной представляется ситуация, когда мощнейшие проектные институты с огромным штатом высококвалифицированных специалистов самого разного профиля способны грамотно проектировать любые уникальные объекты, но не способны обосновать принятые противопожарные мероприятия, поскольку для этого необходимо выполнить чрезмерно сложные и в силу этого доступные только избранным расчеты фактического и необходимого времени эвакуации людей, дислокации подразделений пожарной охраны и т. д. Еще больше огорчает то, что проведение данных расчетов не влияет на повышение уровня пожаробезопасности объектов, так как в 99 % случаев результаты расчетов по определению безопасной эвакуации людей показывают соответствие принятых решений требуемым условиям обеспечения пожарной безопасности людей на объектах. Таким образом, за выполнением высокозатратных и трудоемких расчетов ничего не следует, кроме расходов заказчиков на их выполнение.

Итак, каким образом можно упростить существующие методики — вопрос не из легких. Особенно если принимать во внимание, с каким сильнейшим неприятием и всеобщей критикой столкнутся



Основные направления внесения изменений в Технический регламент

авторы предлагаемых упрощенных методик. Сообщество специалистов, выполняющих данные расчеты, совершенно очевидно не захочет лишиться своих источников доходов, поэтому даже при внутреннем согласии и осознании правильности и целесообразности внедрения экспресс-методик будет всеми возможными способами пытаться их дискредитировать.

Тем не менее разработка экспресс-методик жизненно необходима для снятия административных барьеров, возникающих при реализации норм-принципов, заложенных в Техническом регламенте.

Определенные исследования в данном направлении уже ведутся, и первые результаты проводимой работы будут представлены в ближайшее время.

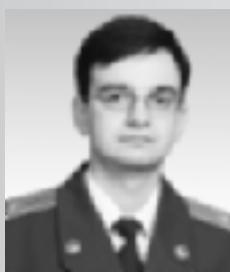
Таким образом, подводя итоги, можно предположить, что исключение из Технического регламента классификаций и технических требований, а также упрощение методов оценки соответствия по определению безопасной эвакуации людей (26 статей содержат данную норму-принцип) в значительной степени позволит снять то напряжение, которое возникло в различных отраслях экономики с принятием Технического регламента (см. рисунок).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. О техническом регулировании : Федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ : принят Гос. Думой ФС РФ 15 декабря 2002 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — № 52 (часть I). — Ст. 5140; 2005. — № 19. — Ст. 1752; 2007. — № 19. — Ст. 2293; 2007. — № 49. — Ст. 6070; 2008. — № 30 (часть II). — Ст. 3616.
3. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска : Постановление Правительства РФ от 31 марта 2009 г. № 272 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2009. — № 14.
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрирован в Минюсте РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 01.12.2009).
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : Приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 : зарегистрирован в Минюсте РФ 17 августа 2009 г., рег. № 14541 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 01.12.2009).
6. **Красавин, А. В.** Антикоррупционная экспертиза Федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” / А. В. Красавин // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 9. — С. 10–21.

Материал поступил в редакцию 3 декабря 2009 г.

*© Красавин А. В., 2010 г.
(e-mail: krasavin@gge.ru).*



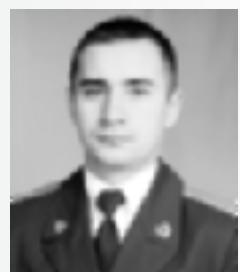
Н. Н. Старков
канд. техн. наук, начальник НИЛ
“Пожарная безопасность” Тольяттинского военного технического института, г. Тольятти, Россия



Д. А. Жуков
канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры Тольяттинского военного технического института, г. Тольятти, Россия



А. А. Триполицын
старший научный сотрудник НИЛ
“Пожарная безопасность” Тольяттинского военного технического института, г. Тольятти, Россия



А. А. Костин
канд. техн. наук, преподаватель Тольяттинского военного технического института, г. Тольятти, Россия

УДК 614.841.3

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НЕЗАВИСИМОЙ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ

Рассматривается методический подход к формированию цены на проведение независимой оценки пожарного риска объектов защиты с учетом многообразия их видов, адекватных рыночной экономике факторов, увязки интересов заказчика и подрядчика. При этом использован положительный опыт создания системы по ценообразованию в проектировании. Единый методический подход к системе ценообразования на проведение независимой оценки пожарного риска объектов защиты создает необходимые экономические предпосылки, направленные на обеспечение этих процессов более упорядоченной нормативной базой.

Ключевые слова: пожарный риск, независимая оценка пожарного риска, цена независимой оценки пожарного риска.

1. Общие положения

1.1. Авторами рассматривается методический подход к формированию цены на проведение независимой оценки пожарного риска (далее — НОР) объектов защиты с учетом многообразия их видов, адекватных рыночной экономике факторов, увязки интересов заказчика и подрядчика.

1.2. Предлагаемые методические рекомендации по определению стоимости проведения НОР объектов защиты (далее – Методические рекомендации) предназначены для создания единого подхода к формированию цены на проведение НОР объектов защиты.

1.3. Базовые цены установлены в зависимости от натуральных показателей (расчетной площади этажей объекта защиты, их количества и т. п.) без учета налога на добавленную стоимость.

1.4. Методические рекомендации предназначены для применения организациями различных организационно-правовых форм, имеющими аккредитацию на осуществление деятельности в области обеспечения пожарной безопасности.

1.5. Критерии оценки стоимости проведения НОР объектов защиты учитывают общественно необходимые затраты на выполнение работ, оформление документации и передачу полученных материалов заказчику.

1.6. Уровень цен, приведенных в Методических рекомендациях, установлен по состоянию на 1 декабря 2009 г.

При определении базовой цены вводится корректирующий коэффициент, учитывающий инфляционные процессы на момент определения цены.

1.7. Стоимость проведения НОР объектов защиты определяется на основе базовых цен с корректировкой коэффициентами, учитывающими усложняющие (упрощающие) факторы и инфляционные процессы, присущие рыночной экономике.

1.8. Стоимость проведения НОР объектов защиты, определенная в соответствии с положениями Методических рекомендаций, является исходной для определения договорной цены.

1.9. В стоимость проведения НОР объектов защиты, определяемой в соответствии с Методическими рекомендациями, включены:

- подготовка и наладка (проверка) приборов, инструмента и оборудования, их мелкий и средний ремонт;

- передача технической документации заказчику.

1.10. В стоимость работ не входят и определяются дополнительно затраты:

- на проведение дополнительных исследований, испытаний, расчетов и экспертиз (на основании требований нормативных документов);

- на разработку и оформление технической документации на мероприятие по обеспечению выполнения условий, при которых объект защиты будет соответствовать требованиям пожарной безопасности;
- на командировочные расходы;
- на внесение изменений в техническую документацию, выданную заказчику.

1.11. Стоимость проведения НОР объектов защиты находится в непосредственной зависимости:

- от класса функциональной пожарной опасности объекта защиты;
- от сложности объемно-планировочных и конструктивных решений объекта защиты — категории сложности зданий;
- от состава работ, определяемого состоянием пожарной безопасности объекта защиты, — категориями сложности работ.

1.12. Стоимость заключений по результатам проведения НОР объектов защиты, выполненных другими организациями, определяется в объеме 10 % сметной стоимости обследования в зависимости от состава работ.

1.13. По зданиям, состоящим из отдельных корпусов (частей) разной этажности, стоимость работ определяется по каждому корпусу (части).

1.14. За высоту этажа объекта защиты принимается расстояние от пола этажа до плоскости потолка этажа.

1.15. Время проведения НОР определяется по табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ п/п	Площадь объекта защиты, для которого выполняется НОР, м ²	Необходимое число рабочих дней для проведения НОР
1	До 100	20
2	Св. 100 до 200	22
3	Св. 200 до 400	24
4	Св. 400 до 600	26
5	Св. 600 до 1000	28
6	Св. 1000 до 2000	30
7	Св. 2000 до 3000	32
8	Св. 3000 до 5000	34
9	Св. 5000 до 7000	36
10	Св. 7000 до 10000	38
11	Св. 10000 до 13000	40
12	Св. 13000 до 17000	42
13	Св. 17000 до 21000	44
14	Св. 21000 до 25000	46
15	Св. 25000 до 30000	48
16	Св. 30000 до 35000	50
17	Св. 35000 до 40000	54
18	Св. 40000 до 50000	60

2. Методика определения стоимости проведения независимой оценки пожарного риска объектов защиты

2.1. Общая стоимость проведения НОР объектов защиты определяется по формуле

$$C_{\text{НОР}} = (C_{\text{АПБ}} + C_{\text{ИПР}}) \times k_{\phi} k_{\text{зд}} k_{\text{раб}} k_{\text{инф}} \prod_{n=1}^n k_i, \quad (2.1)$$

где $C_{\text{НОР}}$ — стоимость проведения независимой оценки пожарного риска объектов защиты, руб.;

$C_{\text{АПБ}}$ — стоимость проведения аудита пожарной безопасности объекта защиты, руб.; определяется по разд. 3 Методических рекомендаций;

$C_{\text{ИПР}}$ — стоимость выполнения работ по определению расчетных значений индивидуального пожарного риска, руб.; определяется по разд. 4 Методических рекомендаций;

k_{ϕ} — коэффициент, учитывающий класс функциональной пожарной опасности объекта защиты; определяется по табл. 2.1;

$k_{\text{зд}}$ — коэффициент сложности объекта защиты; определяется по табл. 2.2;

$k_{\text{раб}}$ — коэффициент сложности работ; определяется по табл. 2.3;

$k_{\text{инф}}$ — повышающий коэффициент, учитывающий инфляционные процессы; определяется путем вычитания из коэффициента инфляции, установленного на момент определения стоимости выполнения работ, коэффициента инфляции, определенного на IV кв. 2009 г. письмом Минрегиона РФ от 13.10.2009 г. № 33498-СК/08;

$\prod_{n=1}^n k_i$ — произведение коэффициентов, учитывающих усложняющие (упрощающие) факторы k_i , влияющие на трудоемкость выполнения работ; значения коэффициентов определяются по табл. 2.4.

2.2. Значения корректирующего коэффициента, учитывающего класс функциональной пожарной опасности объекта защиты, приведены в табл. 2.1.

2.3. Значения коэффициента $k_{\text{зд}}$, определяемые в зависимости от категории сложности объектов защиты, представлены в табл. 2.2.

2.4. Описание категории сложности работ и их состав в зависимости от состояния пожарной безопасности объекта защиты представлены в табл. 2.3.

2.5. В зависимости от условий выполнения стоимость проведения НОР объектов защиты корректируется с помощью коэффициентов, представленных в табл. 2.4.

Таблица 2.1

Класс функциональной пожарной опасности объекта защиты	Характеристика сложности конструктивных решений	Коэффициент k_{Φ}			
			1	2	3
Ф1.1	Здания детских дошкольных образовательных учреждений, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирных), больницы, спальные корпуса образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений	0,60			
Ф1.2	Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов	1,25			
Ф1.3	Многоквартирные жилые дома	0,70			
Ф1.4	Одноквартирные жилые дома, в том числе блокированные	1,25			
Ф2.1	Театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибуналами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях	0,60			
Ф2.2	Музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях	0,90			
Ф2.3	Здания учреждений, указанные для класса Ф2.1, на открытом воздухе	1,20			
Ф2.4	Здания учреждений, указанные для класса Ф2.2, на открытом воздухе	1,20			
Ф3.1	Здания организаций торговли	1,10			
Ф3.2	Здания организаций общественного питания	1,25			
Ф3.3	Вокзалы	0,80			
Ф3.4	Поликлиники и амбулатории	0,60			

Окончание табл. 2.1

1	2	3
Ф3.5	Помещения для посетителей организаций бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей	0,90
Ф3.6	Физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани	0,60
Ф4.1	Здания общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений дополнительного образования детей, образовательных учреждений начального профессионального и среднего профессионального образования	0,60
Ф4.2	Здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов	0,70
Ф4.3	Здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов	1,50
Ф4.4	Здания пожарных депо	0,60

Таблица 2.2

Категория сложности объекта защиты	Характеристика сложности конструктивных решений	Коэффициент k_{3d}
1	Здания прямоугольной формы в плане, с однотипными помещениями в пределах этажа	1
2	Здания, состоящие в плане из 2–3 прямоугольников, с разнотипными помещениями в пределах этажа	1,25
3	Здания, состоящие в плане из нескольких прямоугольников (более 3) или криволинейных очертаний, с разнотипными помещениями в пределах этажа	1,5

Таблица 2.3

Категория сложности работ	Состав работ	Коэффициент $k_{раб}$
1	<p>Независимо от состояния пожарной безопасности объекта защиты</p> <p>1. Анализ документов, характеризующих пожарную опасность объекта защиты.</p> <p>2. Обследование объекта защиты для получения объективной информации о состоянии его пожарной безопасности, выявления возможности возникновения и развития пожара и воздействия на людей и материальные ценности опасных факторов пожара, а также для определения наличия условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности.</p> <p>3. Подготовка заключения о выполнении условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности либо, в случае их невыполнения, разработка мер по обеспечению выполнения условий, при которых объект защиты будет соответствовать требованиям пожарной безопасности.</p>	1
2	<p>Несоответствие пожарной безопасности объекта защиты требованиям нормативных документов</p> <p>1. Выполнение перечня работ по составу 1-й категории сложности.</p> <p>2. Расчеты по оценке пожарного риска в соответствии с требованиями действующих методик.</p>	0,75

Таблица 2.4

№ п/п	Условия работы, при которых применяется коэффициент	Коэффициент k_i
1	Объект защиты относится к объектам специального назначения или объектам с закрытым режимом, на которых по обстановке или установленному режиму неизбежны перерывы в работе, связанные с потерями рабочего времени	1,25
2	Объект защиты является памятником архитектуры, истории или культуры	1,20
3	Выполняются преддоговорные работы	1,06

3. Расчет стоимости проведения аудита пожарной безопасности объекта защиты

3.1. Стоимость проведения аудита пожарной безопасности объектов защиты $C_{\text{АПБ}}$ определяется по формуле

$$C_{\text{АПБ}} = \varUpsilon_{\text{Б}}^{\text{АПБ}} S_p^{\text{зт}} k_{\text{ср}} \prod_{i=1}^n k_i, \quad (3.1)$$

где $\varUpsilon_{\text{Б}}^{\text{АПБ}}$ — базовая цена проведения аудита пожарной безопасности 1 м² расчетной площади объекта защиты, руб./м²;
 $S_p^{\text{зт}}$ — расчетная площадь объекта защиты, м²;
 $k_{\text{ср}}$ — коэффициент, учитывающий объем выполнения работы, определяется расчетом по табл. 3.2;
 $\prod_{i=1}^n k_i$ — произведение коэффициентов, учитывающих усложняющие (упрощающие) факторы k_i ,

влияющие на трудоемкость выполнения работ; значения коэффициентов представлены в табл. 3.3.

3.2. Базовая цена проведения аудита пожарной безопасности в пределах одного этажа объекта защиты $\varUpsilon_{\text{Б}}^{\text{АПБ}}$ определяется в зависимости от площади этажа объекта защиты по табл. 3.1.

3.3. Расчетная площадь объекта защиты $S_p^{\text{зт}}$ определяется суммой площадей S_i i -го количества этажей объекта защиты, если все этажи имеют различные планировки:

$$S_p^{\text{зт}} = \sum_{i=1}^i S_i. \quad (3.2)$$

Если несколько этажей объекта защиты имеют идентичные планировки или в пределах объекта защиты присутствует несколько вариантов с идентичными планировками, расчетная площадь объекта защиты определяется по формуле

Таблица 3.1

Площадь этажа объекта защиты, м ²	До 100	От 100 до 500	От 500 до 1000	От 1000 до 5000	От 5000 до 10 000	Свыше 10 000
$\varUpsilon_{\text{Б}}^{\text{АПБ}}$, руб./м ²	40	35	30	25	20	15

Таблица 3.2

№ п/п	Вид работ	$c\%$
1	Изучение имеющейся технической документации по объекту защиты. Оценка системы обеспечения пожарной безопасности объекта	7
2	Оценка противопожарных расстояний между объектом защиты и существующими зданиями и сооружениями	3
3	Оценка наружного противопожарного водоснабжения	4
4	Оценка конструктивных и объемно-планировочных решений, степеней огнестойкости и классов конструктивной пожарной опасности строительных конструкций	20
5	Оценка обеспечения безопасности людей при возникновении пожара	17
6	Оценка обеспечения проездов и подъездов для пожарной техники, безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара	3

Окончание табл. 3.2

№ п/п	Вид работ	$c\%$
7	Оценка категорий помещений объекта защиты по признаку взрывопожарной и пожарной опасности	7
8	Оценка систем противопожарной защиты	
8.1	Оценка системы управления ТСПЗ	3
8.2	Оценка установки пожаротушения	9
8.3	Оценка внутреннего противопожарного водопровода	5
8.4	Оценка системы пожарной сигнализации	4
8.5	Оценка системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре	5
8.6	Оценка системы противодымной защиты	6
8.7	Оценка системы молниезащиты	2
8.8	Оценка обеспечения первичных средств пожаротушения	2
9	Оценка организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта	3
Итого		100

Таблица 3.3

№ п/п	Условия работы, при которых применяется коэффициент	Коэффициент k_i
1	Выполнение работ проводится на высоте, поэтому для доступа к инженерным коммуникациям и конструкциям необходимы лестницы, подмости, леса и другие приспособления	1,15
2	Работы проводятся внутри жилых эксплуатируемых зданий или в помещениях, в которых выше 50 % площади занято оборудованием	1,15
3	НОР проводится с использованием имеющейся проектной документации объекта защиты по перечню, приведенному в приложении 1	0,75

$$S_p^{\text{ст}} = \sum_{i=1}^i [0,5S_i(m_i + 1)], \quad (3.3)$$

где S_i — площадь i -го этажа объекта защиты, м²;
 i — количество вариантов с идентичными этажами объекта защиты (число этажей с различными планировками);
 m_i — количество идентичных этажей одного варианта.

3.4. Коэффициент, учитывающий объем выполнения работы, определяется расчетом по формуле (3.4) с учетом долевого значения $c\%$ отдельных операций в общем объеме работ:

$$k_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^i c\% / 100. \quad (3.4)$$

3.5. Долевые значения $c\%$ отдельных операций в общем объеме работ в процентном соотношении представлены в табл. 3.2.

3.6. При определении стоимости проведения аудита пожарной безопасности объекта защиты могут быть применены коэффициенты k_i , учитывающие усложняющие (упрощающие) факторы, влияющие на трудоемкость выполнения работ (табл. 3.3).

4. Расчет стоимости определения расчетных значений индивидуального пожарного риска при возникновении пожара на объектах классов функциональной пожарной опасности Ф1, Ф2, Ф3, Ф4

4.1. Стоимость выполнения работ по определению расчетных значений индивидуального пожарного риска $C_{\text{ИПР}}$ определяется по формуле

$$C_{\text{ИПР}} = \varPi_B^{\text{ИПР}} \prod_{n=1}^n k_i, \quad (4.1)$$

где $\varPi_B^{\text{ИПР}}$ — базовая цена выполнения расчета индивидуального пожарного риска, руб.;

$\prod_{n=1}^n k_i$ — произведение коэффициентов, учитывающих усложняющие (упрощающие) факторы k_i , влияющие на трудоемкость выполнения расчетов.

4.2. Базовая цена выполнения расчета индивидуального пожарного риска объекта защиты $\varPi_B^{\text{ИПР}}$ определяется в зависимости от количества помещений на объекте защиты по табл. 4.1.

4.3. Стоимость выполнения работ по определению расчетных значений индивидуального пожарного риска определяется с применением следующих повышающих коэффициентов k_i :

- для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т. д.), — 1,5;
- для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т. д.), — 1,8;
- для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т. д.) — 1,9;
- максимально возможное количество людей, одновременно пребывающих на объекте, определяется по табл. 4.2;
- коэффициент, учитывающий количество эвакуационных выходов объекта защиты, определяется по табл. 4.3;
- коэффициент, учитывающий наличие маломобильных групп населения на объекте защиты, определяется по табл. 4.4;

Таблица 4.1

Количество помещений на объекте n	$\varPi_B^{\text{ИПР}}$
$n = 1$	11600
$1 < n \leq 10$	14000
$10 < n \leq 50$	16300
$n > 50$	$13800 + 50n$

Таблица 4.2

Количество людей n	k_i
$n \leq 10$	1,0
$10 < n \leq 15$	1,2
$15 < n \leq 20$	1,4
$20 < n \leq 50$	1,6
$n > 50$	1,8

Таблица 4.3

Количество эвакуационных выходов n	k_i	Количество эвакуационных выходов n	k_i
1	1,0	6	1,5
2	1,1	7	1,6
3	1,2	9	1,7
4	1,3	10	1,8
5	1,4	> 10	$1,3 + 0,05n$

Таблица 4.4

Группа мобильности	k_i
M1	1,0
M2, M3	1,4
M4	1,9

— коэффициент, учитывающий этажность объекта защиты, определяется по формуле (4.2).

4.4. Коэффициент, учитывающий этажность объекта защиты, определяется по формуле

$$k_i = \sqrt[4]{n_{\text{эт}}}. \quad (4.2)$$

Примечание. Если объект имеет в своем составе идентичные этажи, здания и сооружения, то общее количество идентичных этажей определяется по формуле

$$n_{\text{эт}} = 1 + 0,5(n_{\text{ид}} - 1), \quad (4.3)$$

где $n_{\text{ид}}$ — количество идентичных этажей в здании.

5. Формирование договорной цены

5.1. Договорная цена формируется на основе стоимости работ, определяемой в соответствии с настоящими Методическими рекомендациями, и учета взаимных интересов партнеров, в том числе достижения требуемого объема и качества проведения НОР объектов защиты, сокращения (увеличения) сроков выполнения работ по сравнению с нормативными, научной и технической сложности, степени творческого риска, а также других условий.

5.2. Наряду с основными работами в договорной цене учитывается стоимость:

— дополнительных услуг;
— сопутствующих расходов, исчисленных в соответствии с существующим порядком.

5.3. В условия формирования договорной цены, помимо перечисленных в п. 3.2, включается дополнительная оплата:

— за сокращение продолжительности разработки документа по сравнению с нормативными сроками;

Таблица 5.1

Сокращение сроков, раз	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0
$k_{\text{ср}}$	1,05	1,15	1,25	1,30	1,35

— за выполнение особых требований, оговоренных в договоре.

5.4. Договорная цена $C_{\text{д}}$ определяется по формуле

$$C_{\text{д}} = (C_{\text{НОР}} + C_{\text{доп}}) k_{\text{ср}}, \quad (4.3)$$

где $C_{\text{НОР}}$ — стоимость проведения независимой оценки пожарного риска объектов защиты, руб.; $C_{\text{доп}}$ — стоимость дополнительных работ (услуг), руб.;

$k_{\text{ср}}$ — коэффициент, учитывающий срочность выполнения НОР; принимается по табл. 5.1.

5.5. С целью защиты заказчика и исполнителей от инфляционных потерь в условиях договора рекомендуется учитывать применение следующих видов договорных цен:

— твердой договорной цены, неизменяемой в период действия договора, — для технически несложных работ при непродолжительном сроке их использования;

— открытой договорной цены, уточняемой в ходе выполнения работ.

5.6. В случае применения открытой договорной цены при расчете за выполненные работы (стадии, этапы, части работ) рекомендуется:

— одновременно производить перерасчет стоимости работ с учетом официальных индексов (коэффициентов) инфляции;

— заключать договоры на выполнение работ поэтапно в базовых ценах в соответствии с корректировкой стоимости выполнения последующих этапов работ с учетом уровня стоимости работ, сложившегося на момент заключения договора на выполнение очередного этапа.

Приложение 1

Примерный перечень проектной документации, содержащей сведения о пожарной безопасности объекта защиты

1. Раздел проекта “Общая пояснительная записка”.

2. Раздел проекта “Схема планировочной организации земельного участка (Генеральный план объекта)” или с существующими, или с проектируемыми объектами капитального строительства, их характеристики (назначение, степень огнестойкости, этажности), с указанием существующих и проектируемых подъездов и подходов к ним; источников и характеристик наружного противопожарного водоснабжения.

3. Раздел проекта “Архитектурные решения”, содержащий:

- отображение фасадов;
- поэтажные планы объекта с экспликацией помещений, расстановки оборудования и со спецификацией дверных проемов;
- чертежи характерных разрезов объекта с изображением несущих и ограждающих конструкций, указанием относительных высотных отметок уровней конструкций, полов, низа балок, ферм, покрытий с описанием конструкций кровель и других элементов конструкций.

4. Раздел проекта “Конструктивные и объемно-планировочные решения”, содержащий:

- описание конструктивных решений объекта защиты, включая пространственные схемы, принятые при выполнении расчетов строительных конструкций;

— указание размеров элементов конструкций.

5. Раздел проекта “Технологические решения”, содержащий:

- сведения о максимальном количестве человек, находящихся одновременно в помещениях с возможным пребыванием людей;
- план размещения оборудования (мебели).

6. Раздел проекта “Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности”, содержащий:

- описание и схемы технических систем противопожарной защиты (автоматических установок пожаротушения, пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, внутреннего противопожарного водопровода, противодымной защиты).

П р и м е ч а н и е . Данный перечень не является исчерпывающим. Исполнитель имеет право запрашивать дополнительные данные в ходе проведения НОР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. Об утверждении правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска : постановление Правительства РФ от 7 апреля 2009 г. № 304 // Российская газета, 14 апреля 2009 г.
3. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска : постановление Правительства РФ от 31 марта 2009 г. № 272 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2009. — № 14.
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрирован в Минюсте РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru>.
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 : зарегистрирован в Минюсте РФ 17 августа 2009 г., рег. № 14541 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru>.
6. Справочник по ценообразованию / Под ред. Н. Т. Глушкова. — М. : Экономика, 1995.
7. **Минков, У. Э.** Оценка эффективности капитальных вложений (новые подходы) / У. Э. Минков. — М. : Наука, 1981.
8. **Катерович, Л.** Экономика и организация / Л. Катерович [и др.]. — М. : Наука, 1990.
9. Экономика и бизнес / Под ред. В. Д. Пашаева. — М. : Изд-во МГТУ, 1992.
10. Справочник базовых цен на проектные работы для строительства. Системы противопожарной и охранной защиты. — М. : Госстрой России, 1999.
11. Практическое пособие по применению “Справочника базовых цен на проектные работы для строительства. Системы противопожарной и охранной защиты”. — М. : Госстрой России, 1999.

Материал поступил в редакцию 17 декабря 2009 г.

*© Старков Н. Н., Жуйков Д. А., Триполицын А. А., Костин А. А., 2010 г.
(e-mail: nilpb@list.ru).*

**В. С. Иванов**

инженер-исследователь Института
химической физики им. Н. Н. Семенова
РАН, г. Москва, Россия

**С. М. Фролов**

д-р физ.-мат. наук, заведующий отделом
Института химической физики
им. Н. Н. Семенова РАН, г. Москва, Россия

УДК 614.841.41

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ГЛАДКИХ ТРУБАХ И ТРУБАХ С РЕГУЛЯРНЫМИ ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Разработан эффективный вычислительный алгоритм многомерного моделирования начальной стадии процесса перехода горения в детонацию (ПГД) в газах. Алгоритм основан на методе явного выделения фронта пламени. Проведены двумерные расчеты ускорения пламени в стехиометрической пропановоздушной смеси в гладких трубах и в трубах с регулярными препятствиями. Получено удовлетворительное согласие результатов расчетов с известными экспериментальными данными по зависимостям скорости пламени от времени и от пройденного расстояния как для гладких труб, так и для труб с регулярными кольцевыми препятствиями разной высоты и с разным шагом установки.

Ключевые слова: вычислительная газовая динамика, горение, ускорение пламени, взрывобезопасность.

Введение

Численное моделирование ускорения фронта пламени в канале — сложная задача, требующая рассмотрения стадий зажигания, ламинарного горения, развития неустойчивости пламени, возникновения турбулентности в свежей смеси, взаимодействия пламени с турбулентным течением и т. д. В настоящее время существует большое количество математических моделей горения, как ламинарного, так и турбулентного. В двух предельных режимах, соответствующих бесконечно большой скорости химических реакций и бесконечно быстрому смешению продуктов горения со свежей смесью, моделирование турбулентного горения в гомогенных газовых смесях не вызывает принципиальных сложностей. Однако на практике такие предельные режимы горения реализуются редко: как правило, характерные масштабы времени процесса смешения и химических превращений в турбулентных пламенах близки по порядку величины.

При расчете средней скорости химических превращений при турбулентном горении необходимо, вообще говоря, учитывать взаимное влияние турбулентных пульсаций скорости течения и химической кинетики. Для этого используют либо статистические модели, основанные на функциях плотности распределения вероятностей (ФПРВ) разных параметров течения [1], либо модели микроламинарных

пламен (МП), основанные на представлении фронта горения в виде набора элементарных площадок ламинарного пламени в турбулентном поле течения [2, 3]. Существует целый класс моделей МП с выделением фронта пламени [4–10].

Для применения современных математических моделей гомогенного горения в практических расчетах требуются многопроцессорные вычислительные комплексы, позволяющие сократить расчетное время до приемлемого уровня. В связи с этим весьма актуальна задача разработки быстрых алгоритмов расчета, позволяющих с достаточной точностью моделировать гомогенное горение в многомерном турбулентном потоке. Цель данной работы — создание эффективного вычислительного алгоритма для моделирования начальной стадии процесса ПГД в газах, основанного на методе явного выделения фронта пламени.

Модель выделения фронта пламени

Для моделирования гомогенного горения газов нами разработан алгоритм явного выделения фронта пламени в турбулентном потоке. Суть алгоритма заключается в следующем. При заданной начальной геометрической форме очага горения поверхность, отделяющая свежую смесь от продуктов горения, представляется в виде набора элементарных площадок турбулентного или ламинарного пламени.

В турбулентном потоке каждая площадка фронта пламени движется со скоростью, равной сумме нормальной скорости горения и локальной скорости течения. Нормальная скорость горения определяется по одной из известных моделей турбулентного пламени и зависит от локальной скорости ламинарного горения и локальных параметров турбулентности. Локальная скорость течения и параметры турбулентности определяются из решения системы осредненных уравнений течения методом контрольных объемов с использованием специальной процедуры интерполяции. Вследствие того что поле течения нестационарное и неоднородное, очаг горения деформируется. Непрерывность фронта горения обеспечивается системой эвристических правил, исключающих из рассмотрения невероятные конфигурации пламени. Важную роль в реализации алгоритма играют электронные таблицы скорости ламинарного горения как функции начальных температуры, давления и состава смеси. Такие таблицы составляются на основе решения задачи о структуре плоского ламинарного пламени с использованием как детальных, так и полуэмпирических кинетических механизмов. Кроме того, таблицы содержат информацию о концентрационных пределах распространения пламени.

В отличие от других методов выделения фронта пламени, когда для определения плотности поверхности пламени решаются дополнительные уравнения в частных производных (например, G-уравнение), в нашей модели фронт пламени выделяется явно. Предполагается, что толщина элемента фронта пламени бесконечно мала по сравнению с характерным размером расчетной ячейки и все химические превращения сосредоточены во фронте, который отделяет продукты горения от свежей смеси. Результаты апробации описанной выше “подсчеточной” модели выделения фронта пламени впервые изложены в [11], а затем — в [12, 13].

Расчет скорости ламинарного пламени

Для составления электронных таблиц скорости ламинарного пламени u_n как функции начальных температуры, давления и состава смеси предварительно решается задача о распространении стационарного одномерного ламинарного пламени в гомогенной газовой смеси. Структура фронта описывается системой дифференциальных уравнений теплопроводности и диффузии:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) - c \rho_0 u_n \frac{\partial T}{\partial x} + \Phi = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D_j \frac{\partial Y_j}{\partial x} \right) - \rho_0 u_n \frac{\partial Y_j}{\partial x} + w_j = 0, \quad j=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где x — продольная координата, нормальная к фронту пламени;

λ — коэффициент теплопроводности;

T — температура;

c — теплоемкость при постоянном давлении;

ρ_0 — плотность газа перед фронтом пламени;

Φ — скорость энерговыделения вследствие химических реакций;

ρ — плотность;

D_j — коэффициент молекулярной диффузии;

Y_j — массовая доля j -го компонента смеси;

N — количество веществ, участвующих в реакциях;

w_j — скорость изменения концентрации j -го компонента смеси в i -й реакции:

$$w_j = G_j \sum_{i=1}^M (v'_{ij} - v_{ij}) A_i T^{n_i} \times \\ \times \exp \left(-\frac{E_i}{R^o T} \right) \prod_{k=1}^N \left(\frac{\rho Y_k}{G_k} \right)^{v_{ik}}, \quad j = 1, 2, \dots, N; \quad (2)$$

G_j, G_k — молекулярная масса j -го и k -го компонентов смеси соответственно;

M — полное количество химических реакций, протекающих в смеси;

v_{ij} и v'_{ij} — стехиометрические коэффициенты соответственно для реагентов и продуктов реакции;

A_i, E_i и n_i — предэкспоненциальный множитель, энергия активации и показатель степени при температуре в законе Аррениуса соответственно;

R^o — универсальная газовая постоянная.

Система уравнений (1) замыкается кинетическим механизмом окисления горючего и уравнением состояния смеси:

$$p = \rho R^o T \sum_{j=1}^M \frac{Y_j}{G_j}, \quad (3)$$

где p — давление.

Для системы уравнений (1) задаются граничные условия:

$$x \rightarrow -\infty, \quad T = T_0, \quad Y_j = Y_{j0} \quad (j = 1, 2, \dots, N);$$

$$x \rightarrow \infty, \quad dT/dx = 0, \quad dY_j/dx = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, N).$$

Задача решается численно с помощью вычислительной программы, разработанной в ИХФ РАН. В качестве примера в табл. 1 приведены расчетные значения скорости ламинарного пламени (см/с) для стехиометрической пропановоздушной смеси при разных давлениях (от 0,1 до 10 МПа) и начальных температурах (от 300 до 900 К). В расчетах использовали формальный кинетический механизм окисления пропана [14]. Полученные данные используются для построения электронных таблиц. Для расчета значений нормальной скорости горения при промежуточных значениях давления и температуры

Таблица 1. Скорости горения стехиометрической пропановоздушной смеси (см/с)

Давление, МПа	Начальная температура, К				
	300	450	600	750	900
0,1	39	78	143	247	451
0,3	28	55	102	178	306
1,0	19	35	64	112	191
4,0	8,9	19	36	62	105
10,0	6,0	13	24	41	69

свежей смеси использовали линейную интерполяцию данных, представленных в табл. 1.

Расчет скорости турбулентного пламени

Известно, что турбулентные пульсации искривляют фронт пламени. Искривление фронта приводит в свою очередь к увеличению нормальной (турбулентной) скорости распространения фронта горения. В нашем методе искривленная поверхность пламени представляется элементами усредненного фронта, скорость перемещения каждого из которых складывается из нормальной скорости турбулентного горения u_T и локальной средней скорости потока.

В литературе существует множество полуэмпирических формул для расчета скорости турбулентного пламени. Классический пример — формула Щелкина:

$$u_T \approx u_n \sqrt{1 + u'^2/u_n^2},$$

где u' — локальная интенсивность турбулентности.

Таким образом, при рассмотрении турбулентного горения вместо скорости ламинарного пламени u_n используется величина u_T . Более того, применение формул типа (5) дает асимптотический переход от турбулентного к ламинарному режиму горения в отсутствие турбулентности ($u' \rightarrow 0$, $u_T \rightarrow u_n$). Это одно из преимуществ модели, которое допускает ее использование для расчета как начальной стадии распространения фронта пламени (когда пламя ламинарное), так и стадии последующего ускорения пламени (когда пламя искривляется турбулентными пульсациями). Отметим также, что модель не имеет подгоночных параметров, что является еще одним ее достоинством.

Результаты расчетов

На основе описанного алгоритма явного выделения фронта пламени проведены двумерные расчеты горения стехиометрической пропановоздушной смеси в гладких трубах и в трубах с регулярными препятствиями. Алгоритм внедрен в вычисли-

тельный программу AVL FIRE [15]. Для определения локальной мгновенной скорости ламинарного пламени u_n использовались данные табл. 1 и метод линейной интерполяции. Локальную мгновенную скорость турбулентного пламени определяли по формуле (5). Параметры турбулентности, включая u_n , рассчитывали по стандартной $k-\epsilon$ -модели.

Были проведены две серии расчетов.

Расчеты первой серии основаны на экспериментальной работе [16], в которой исследовалось распространение пропановоздушного пламени в гладких трубах квадратного сечения со стороной 40 мм разной длины (2,6; 3,6; 5,1 и 6,1 м) с одним открытый и одним закрытым концом при нормальных начальных условиях. Для зажигания смеси использовали нагреваемую проволочку [16]. В опытах, описанных в [16], в начальный момент времени смесь покоилась.

В плоских двумерных расчетах температуру стенки трубы считали постоянной и равной 300 К. На открытом конце трубы использовали условия постоянного статического давления (0,1 МПа). Начальный очаг фронта пламени был представлен в виде круга радиусом 1 мм, расположенного на расстоянии 1 см от закрытого конца трубы на оси симметрии (в соответствии с [16]). В расчетах использовали однородную структурированную сетку с размером ячеек 2 мм. В каждой расчетной ячейке фронт пламени описывали не менее чем 15 элементами.

На рис. 1 представлено сравнение расчетных и экспериментальных зависимостей пройденного пламенем расстояния от времени. Как и в экспериментах [16], в качестве характерной точки на фронте пламени выбирали лидирующую точку фронта пламени. Несмотря на то что двумерный расчет распространения фронта пламени по каналу квадратного сечения не может претендовать на точное отражение реальной трехмерной структуры течения, видно удовлетворительное согласие расчетов с экспериментальными данными. Важно то, что расчет дает правильное качественное и удовлетворительное количественное описание движения фронта пламени от закрытого конца трубы к открытому и учитывает взаимодействие пламени с возникающими волнами разрежения и сжатия.

При дифференцировании расчетных кривых, представленных на рис. 1, можно получить зависимости видимой скорости фронта пламени от времени. Например, на рис. 2 показана расчетная зависимость видимой скорости пламени от пройденного расстояния для трубы длиной 6,1 м. Видно, что ближе к открытому концу трубы видимая скорость пламени достигает 400 м/с. Ускорение фронта пламени не монотонно. Локальные максимумы и минимумы на рис. 1 соответствуют взаимодействию фронта

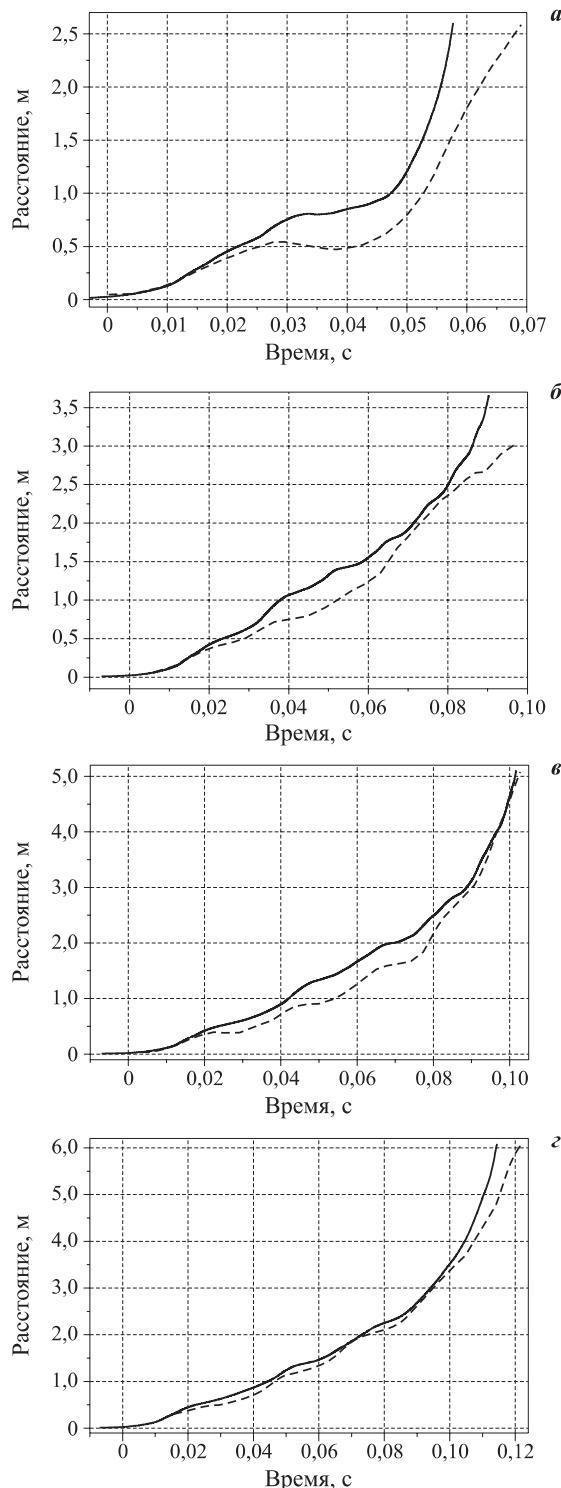


Рис. 1. Сравнение расчетных (сплошная кривая) и экспериментальных [16] (пунктир) зависимостей расстояния, пройденного пламенем в гладких трубах квадратного сечения длиной 2,6 (а), 3,6 (б), 5,1 (в) и 6,1 м (г)

пламени с волнами сжатия и разрежения. Эти волны возникают вследствие отражений от закрытого и открытого концов трубы волн давления, формирующихся при ускорении фронта пламени.

Взаимодействие пламени с волнами сжатия и разрежения влияет не только на его движение, но и

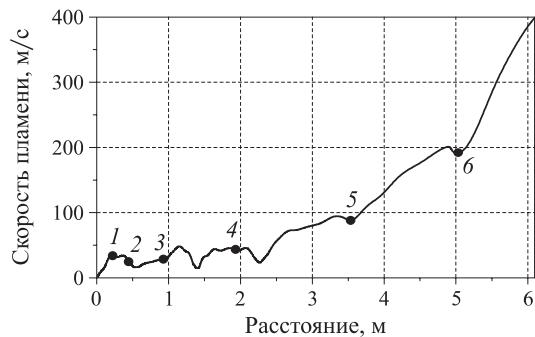


Рис. 2. Расчетная зависимость видимой скорости фронта пламени от пройденного расстояния: 1–6 — положения пламени с различными формами фронта (см. рис. 3)

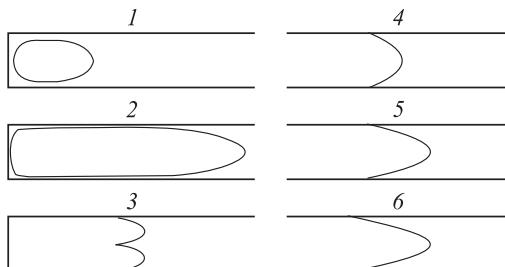


Рис. 3. Форма фронта пламени в точках, отмеченных на рис. 2

на изменение его осредненной формы. На рис. 3 представлены формы фронта пламени при его распространении по трубе длиной 6,1 м. Координата и скорость фронта, при которых фиксировалась форма пламени, указаны цифрами на рис. 2. Особый интерес вызывает тюльпанообразная форма фронта в точке 3, которая наблюдалась в экспериментах, описанных в [16] и других работах. Такая форма пламени возникает после первого взаимодействия с волной сжатия, отраженной от открытого конца трубы, когда видимая скорость пламени достаточно мала. Образование такой формы пламени вызвано неоднородным распределением турбулентности по сечению трубы. Турбулентность около стенок выше и, следовательно, выше скорость турбулентного горения. В результате точки фронта пламени вблизи стенок перемещаются быстрее и обгоняют точку фронта в центре канала.

Расчеты второй серии основаны на экспериментальной работе [17], в которой исследовалось распространение пропановоздушного пламени в цилиндрической трубе круглого сечения диаметром 15,2 см и длиной 3,1 м с регулярными кольцевыми препятствиями, с одним открытым и одним закрытым концом при нормальных начальных условиях. В качестве препятствий в экспериментах использовались кольца со степенью затенения сечения 0,43; 0,6 и 0,75. Степень затенения определяли как отношение площади препятствий к площади поперечного

сечения трубы. Для зажигания стехиометрической пропановоздушной смеси использовался слабый искровой разряд [17]. В опытах, описанных в [17], в начальный момент времени смесь покоилась и находилась в нормальных условиях.

Для двумерного осесимметричного численного моделирования условий опытов [17] использовали те же настройки, что и в первой серии расчетов, в частности применяли однородную структурированную сетку с размером ячеек 2 мм. На рис. 4 представлено сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей скорости фронта пламени от пройденного расстояния для трех значений степени затенения сечения препятствиями при шаге установки препятствий, равном диаметру трубы.

Из рис. 4 видно, что результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными наблюдениями. Очень хорошее согласие наблюдается на начальном участке ускорения пламени до 300–400 м/с. Пламя ускоряется до скорости 800–900 м/с, что соответствует адиабатической скорости звука в продуктах горения (около 890 м/с). На начальной стадии ускорение пламени более эффективно в трубе с препятствиями большего размера. Это связано с более высоким уровнем турбулентных пульсаций, возникающих около препятствий. Однако с увеличением скорости пламени возрастают потери импульса на препятствиях, и ускорение пламени при более высоких степенях затенения сечения замедляется. Колебания скорости распространения фронта пламени связаны с сужением (увеличение скорости) потока около препятствий и его расширением (уменьшение скорости) между препятствиями.

Одно из важнейших явлений, представляющее большой интерес для взрывобезопасности, — самовоспламенение смеси перед фронтом пламени и переход горения в детонацию. На рис. 5 представлено расчетное распределение давления в окрестности

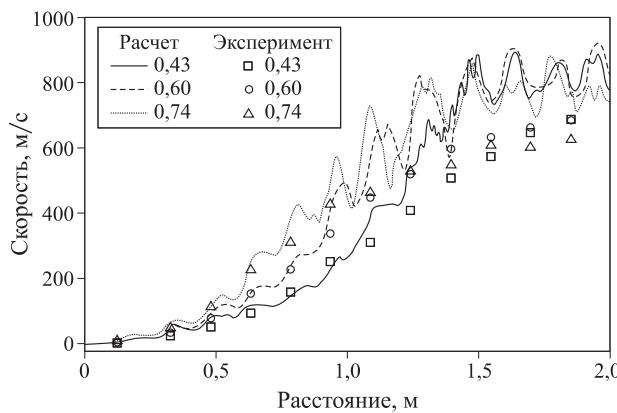


Рис. 4. Сравнение расчетных (кривые) и экспериментальных (точки) зависимостей видимой скорости фронта пламени от пройденного расстояния

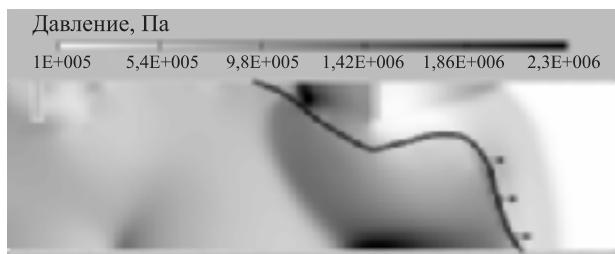


Рис. 5. Расчетное распределение давления в окрестности фронта пламени, распространяющегося со скоростью около 700–800 м/с

фронта пламени, распространяющегося со скоростью около 700–800 м/с. На рис. 5 изображена лишь половина продольного сечения трубы, т. е. нижняя граница соответствует оси симметрии. Хорошо видны лидирующая и отраженная от препятствий ударные волны. Обращает на себя внимание тот факт, что лидирующая ударная волна находится на очень малом расстоянии от фронта пламени, что затрудняет самовоспламенение в ударно-сжатом газе и переход в детонацию. Однако самовоспламенение возможно при отражении ударной волны от препятствия — механизм, неоднократно обсуждавшийся в литературе [18].

Выводы

Разработан эффективный вычислительный алгоритм многомерного моделирования начальной стадии процесса перехода горения в детонацию в газах, который основан на методе явного выделения фронта пламени. Проведены двумерные расчеты ускорения пламени в стехиометрической пропановоздушной смеси в гладких трубах и в трубах с регулярными препятствиями. Получено удовлетворительное согласие результатов расчетов с известными экспериментальными данными по зависимостям скорости пламени от времени и от пройденного расстояния как для гладких труб, так и для труб с регулярными кольцевыми препятствиями разной высоты и с разным шагом установки. Расчет распространения пламени в гладкой трубе показал, что метод выделения фронта пламени дает правильное качественное и удовлетворительное количественное описание движения фронта пламени от закрытого конца трубы к открытому и учитывает взаимодействие пламени с возникающими волнами разрежения и сжатия. Расчеты показали также, что метод выделения фронта пламени позволяет отслеживать изменения его формы вследствие взаимодействий с волнами давления. Расчеты распространения фронта пламени в трубах с регулярными препятствиями показали, что ударная волна находится на очень малом расстоянии от фронта пламени. Таким образом, переход горения в детонацию в рассмотренных конфигурациях трубы маловероятен.

Работа выполнена в рамках государственных контрактов № П502 “Разработка методов численного моделирования нестационарного горения и детонации газов и капельных смесей в каналах сложной геометрии и полуограниченных объемах для применения в импульсно-детонационных энер-

гетических установках” и № 02.516.12.6026 “Разработка процесса импульсного детонационного горения природного газа для повышения эффективности работы энергетических установок”, а также при частичной поддержке РФФИ (проект 08-08-00068).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Pope, S. B.** Computation of turbulent combustion: progress and challenges / S. B. Pope // Proc. Comb. Inst. — 1990. — Vol. 23.
2. **Unverdi, S. O.** A front-tracking method for viscous, incompressible, multi-fluid flows / S. O. Unverdi, G. Tryggvason // Journal of Computational Physics. — May 1992. — Vol. 100, Issue 1. — P. 25–37.
3. **Chern, I.-L.** Front tracking for gas dynamics / I.-L. Chern, J. Glimm, O. McBryan, B. Plohr, S. Yaniv // Journal of Computational Physics. — January 1986. — Vol. 62, Issue 1. — P. 83–110.
4. **Aulisa, E.** A mixed markers and volume-of-fluid method for the reconstruction and advection of interfaces in two-phase and free-boundary flows / E. Aulisa, S. Manservisi, R. Scardovelli // Journal of Computational Physics. — July 2003. — Vol. 188, Issue 2, 1. — P. 611–639.
5. **Aulisa, E.** A surface marker algorithm coupled to an area-preserving marker redistribution method for three-dimensional interface tracking / E. Aulisa, S. Manservisi, R. Scardovelli // Journal of Computational Physics. — July 2004. — Vol. 197, Issue 2, 1. — P. 555–584.
6. **Haldenwang, P.** Dynamically adapted mesh refinement for combustion front tracking / P. Haldenwang, D. Pignol // Computers & Fluids. — 2002. — Vol. 31. — P. 589–606.
7. **Chord, R.** An efficient particle-locating algorithm for application in arbitrary 2D and 3D grids / R. Chord, J. A. Blasco, N. Fueyo // International Journal of Multiphase Flow. — 2002. — Vol. 28. — P. 1565–1580.
8. **Barrero, D.** A physics based multi-resolution model for the simulation of turbulent gases and combustion. IRIT / D. Barrero, M. Paulin, R. Caubet.
9. **Schmidt, H.** A generalized level-set / in-cell-reconstruction approach for accelerating turbulent premixed flames / H. Schmidt, R. Klein // Combust. Theory Modeling. — 2003. — Vol. 7. — P. 243–267.
10. **Arntzen, B. J.** Modeling of gas explosions in complex geometries using the Simple Interface Flame model, SIF / B. J. Arntzen // 7th Symp. (Intern.) on hazards, prevention, and mitigation of industrial explosions. — St. Petersburg, July 7–11, 2008. — Vol. 1. — P. 255–264.
11. **Иванов, В. С.** Модель горения газов с выделением фронта пламени / В. С. Иванов, В. Я. Басевич, С. М. Фролов // XIV Симпозиум по горению и взрыву : тез. докл. — Черноголовка : Изд-во ИПХФ РАН, 2008. — С. 73.
12. **Frolov, S. M.** Tracking of propagating turbulent flames and autoignition in enclosure / S. M. Frolov, V. S. Ivanov, V. A. Smetanyuk, B. Basara // Proc. XXII YUMV International Automotive Conference with Exhibition “Science and Motor Vehicles”. — Belgrade, April 14–16, 2009. — P. 1–9.
13. **Frolov, S. M.** Numerical simulation of propane-air turbulent flame acceleration in straight tubes of different length / S. M. Frolov, V. S. Ivanov, V. A. Smetanyuk, B. Basara, M. Suffa // Nonequilibrium Phenomena: Plasma, Combustion, Atmosphere / Eds. G. D. Roy, S. M. Frolov, A. M. Starik. — Moscow : Torus Press, 2009. — P. 356–365.
14. **Basevich, V. Ya.** Global kinetic mechanisms developed for modeling multistage autoignition of hydrocarbons in reactive flows / V. Ya. Basevich, S. M. Frolov // Russian Journal of Chemical Physics. — 2006. — Vol. 25, No. 6. — P. 54–62.
15. FIRE Users Manual Version (v2008). — AVL List GmbH Graz, Austria, 2008.
16. **Kerampran, S.** Influence of the pressure waves generated at the initial stage of flame propagation on the DDT process in smooth tubes / S. Kerampran, D. Desbordes, B. Veyssiere // Confined detonations and pulse detonation engines / Eds. Roy, Frolov, Santoro, Tsyanov. — Moscow : Torus Press, 2003. — P. 3–16.
17. **Ciccarelli, G.** Effects of obstacle size and spacing on the initial stage of flame acceleration in an obstacle laden tube / G. Ciccarelli, C. J. Fowler, M. Bardon // Proc. 19th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS). — Hakone, Japan, July 27 – August 1, 2003.
18. **Фролов, С. М.** Быстрый переход горения в детонацию / С. М. Фролов // Химическая физика. — 2008. — Т. 27, № 6. — С. 31–44.

Материал поступил в редакцию 5 ноября 2009 г.
© Иванов В. С., Фролов С. М., 2010 г.
(e-mail: ivanov.vls@gmail.com).



С. В. Поздеев
канд. техн. наук, доцент,
начальник кафедры Академии пожарной
безопасности им. Героев Чернобыля
МЧС Украины, г. Черкассы, Украина



И. Ю. Тищенко
канд. ист. наук, доцент, проректор
Академии пожарной безопасности
им. Героев Чернобыля МЧС Украины,
г. Черкассы, Украина

УДК 624.012

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проведено математическое моделирование поведения железобетонной балки во время пожара при помощи метода конечных элементов. При этом рассмотрены математические модели материалов, приведенные в современных нормативных документах. В результате исследований определены фактические пределы огнестойкости и наиболее эффективные математические модели для выполнения расчетов на огнестойкость изгибаемых железобетонных элементов.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, огнестойкость, математическое моделирование, метод конечных элементов.

Введение

В связи с интенсификацией строительства, обусловленной уплотнением структуры жилых и производственных площадей зданий и сооружений, увеличением количества пожаров и других чрезвычайных ситуаций, которые могут стать причиной пожара или являются его следствием, все более актуальными становятся задачи совершенствования методов определения огнестойкости железобетонных строительных конструкций, основанных на математическом и компьютерном моделировании. Важность этих задач обуславливается также недостаточным испытательным обеспечением лабораторий, трудоемкостью и высокой стоимостью огневых испытаний железобетонных строительных конструкций.

Применение методов математического моделирования для исследования поведения элементов железобетонных конструкций связано с большими трудностями, что обусловлено неоднородностью свойств железобетона, а также ярко выраженной нелинейностью процессов, происходящих при его высокотемпературном нагреве во время пожара. Данной проблеме посвящены многочисленные научные исследования [1–3]. Однако значительная часть этих работ посвящена вопросам теплообмена, в то время как механическая реакция железобетона на температурное воздействие исследована в меньшей степени и требует своего раскрытия с применением новейших средств математического и компьютерного моделирования.

Математическое моделирование механической реакции нагруженных элементов железобетонных конструкций на тепловое воздействие пожара основано на комплексном решении уравнений в частных производных типа уравнения теплопроводности и полной системы уравнений напряженно-деформированного состояния (НДС) твердого тела. Для решения данных уравнений наиболее эффективным является метод конечных элементов (МКЭ), поскольку он универсален, а алгоритмы его численной реализации очень хорошо отработаны и позволяют учесть все значимые особенности поведения железобетона при комбинированном действии высокотемпературного нагрева и механических нагрузок. Кроме того, данные алгоритмы применяются в универсальных компьютерных МКЭ-системах типа ANSYS, COSMOS, ABAQUS, ЛИРА и др., в которых реализованы наиболее эффективные математические модели поведения материалов, учитывающие обширный опыт зарубежных и отечественных исследователей.

Важным представляется также вопрос корректного применения математических моделей материалов и расчетных методик, описанных в нормативной документации. Развитию математических моделей механических и теплофизических свойств материалов посвящено большое количество научных работ, например [1–3]. Вместе с тем следует заметить, что в нормативных документах (например [4, 5]) даны четкие расчетные методики и математические модели свойств материалов. Это

обуславливает необходимость применения их для расчетов пределов огнестойкости железобетонных конструкций проектируемых зданий на практике. В связи с этим достаточно важным представляется развитие методологии для решения практических проектных задач, основанной на базовых нормативных документах с применением уточненных методов.

Состояние вопроса

В результате многочисленных исследований [1–5] установлены различные математические модели поведения бетона и арматурной стали в условиях нагрева при пожаре. Сравнительный анализ данных моделей показал их существенное различие, поэтому для построения математической модели поведения железобетонной балки во время пожара были выбраны математические модели, описанные в нормах [4, 5]. Анализ подходов в данных источниках позволил сформулировать основные предпосылки и допущения, которые в общем виде можно сформулировать следующим образом:

1. Математическая модель температурной и механической реакции на тепловое воздействие пожара описывается при помощи уравнения теплопроводности и системы дифференциальных уравнений НДС твердого тела при их численной реализации на базе МКЭ.

2. Для решения теплотехнической задачи используется нестационарное двумерное квазилинейное уравнение теплопроводности с эффективными теплофизическими характеристиками (ТФХ) бетона и арматурной стали согласно нормативным документам [4, 5] в допущении, что НДС на них не влияет.

3. Учитывается возможность трещинообразования в бетоне при растяжении. Поведение бетона при сжатии имеет нелинейный характер с учетом ниспадающей ветви диаграммы деформирования, характер которой зависит от температуры.

4. Трещинообразование в бетоне определяется соответствующей теорией прочности бетона.

5. Поведение арматурной стали одинаково при сжатии и растяжении и имеет нелинейный характер

с учетом ниспадающей ветви диаграммы деформирования, зависящей от температуры.

6. Температурная деформация определяется с учетом температурной усадки.

7. Состояние тотального разрушения элемента железобетонной конструкции определяется критическими пластическими деформациями.

Основная часть

В нормативных документах [4, 5] описаны математические модели температурной реакции на тепловое воздействие пожара, основанные на использовании нестационарного двумерного квазилинейного уравнения теплопроводности в виде:

$$c_p(T)\rho(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda(T)\nabla T) \quad (1)$$

с граничными условиями (ГУ) III рода в виде:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha(T_p - T_w) + \varepsilon\sigma(T_p^4 - T_w^4), \quad (2)$$

где $c_p(T)$ — удельная теплоемкость;

$\rho(T)$ — плотность бетона;

$\lambda(T)$ — коэффициент теплопроводности;

r — координата в заданном направлении;

T_p, T_w — температура соответственно среды пожара и поверхности балки;

ε — степень черноты поверхности балки;

σ — постоянная Стефана–Больцмана.

Температура пожара определяется стандартной температурной кривой.

Эффективные ТФХ бетона определяются согласно табл. 1.

Плотность бетона согласно [4] изменяется по зависимостям, приведенным ниже:

$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C}) = 2300 \text{ кг}/\text{м}^3$ при $20 \leq T \leq 115^\circ\text{C}$;

$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C})(1 - 0,02(T - 115)/85)$ при $115 < T \leq 200^\circ\text{C}$;

$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C})(0,98 - 0,03(T - 200)/200)$ при $200 < T \leq 400^\circ\text{C}$;

$\rho(T) = \rho(20^\circ\text{C})(0,95 - 0,07(T - 400)/800)$ при $200 < T \leq 400^\circ\text{C}$.

Границные условия определяются по табл. 2.

Таблица 1. Теплофизические характеристики бетона

Заполнитель бетона	Зависимости ТФХ от температуры		Источник
	Коэффициент теплопроводности $\lambda(T)$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	Объемная теплоемкость $c_p(T)\rho$, $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$	
Силикатный	Верхняя граница $2 - 0,2451(T/100) + 0,0107(T/100)^2$	$\rho(T) \cdot 900$ при $20 \leq T \leq 100^\circ\text{C}$, $\rho(T)(900 + (T - 100))$ при $100 < T \leq 200^\circ\text{C}$,	[4]
	Нижняя граница $1,36 - 0,136(T/100) + 0,0057(T/100)^2$	$\rho(T)(1000 + (T - 200)/2)$ при $200 < T \leq 400^\circ\text{C}$, $\rho(T) \cdot 1100$ при $400 < T \leq 1200^\circ\text{C}$	
	$1,2 - 0,00035T$	$2300(710 + 0,83T)$	

Таблица 2. Параметры ГУ теплотехнической задачи

Параметр ГУ	Значение параметра	Источник
Коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м ² ·К):		
обогреваемая поверхность	25	[4]
необогреваемая поверхность	25	
обогреваемая поверхность	29	[5]
необогреваемая поверхность	6	
Параметры радиационного теплообмена:		
степени черноты		
постоянная Стефана-Больцмана,	0,85	[2]
Bt/(m ² ·K)	5,86·10 ⁻⁸	

НДС железобетона описывается системой дифференциальных уравнений НДС, известных из теории упругости, имеющих вид [6]:

- уравнения статического равновесия:

$$\mathbf{D}^T \boldsymbol{\sigma} + \bar{\mathbf{p}} = 0; \quad (3)$$

- уравнения преобразования вектора напряжений к вектору напряжений, действующих на нормальной площадке, с граничными условиями на поверхности массива:

$$\mathbf{q} = \mathbf{T}_n^T \boldsymbol{\sigma}, \quad \mathbf{q}|_{S_q} = \bar{\mathbf{q}}; \quad (4)$$

- кинематические уравнения совместности деформаций с граничными условиями на поверхности:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{D}\mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \quad \mathbf{u}|_{S_u} = \bar{\mathbf{u}}; \quad (5)$$

- уравнение состояния:

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{E}(\boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\varepsilon}_t) + \boldsymbol{\sigma}_0. \quad (6)$$

В данные уравнения входят следующие параметры:

$$\mathbf{D}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} — \text{матрица дифференциального оператора};$$

$\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_x \sigma_y \sigma_z \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx})^T$ — вектор напряжений;

$\mathbf{p} = (X \ Y \ Z)^T$ — вектор объемных сил;

$\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_x \sigma_y \sigma_z \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx})^T$ — вектор напряжений;

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z \gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx})^T$ — вектор деформаций;

\mathbf{E} — матрица коэффициентов упругости;

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\alpha_t T \alpha_t T_0 0 0)^T$ — вектор температурных деформаций;

$\boldsymbol{\sigma}_0$ — вектор действующих напряжений при нагрузке согласно расчетной схеме конструкции;

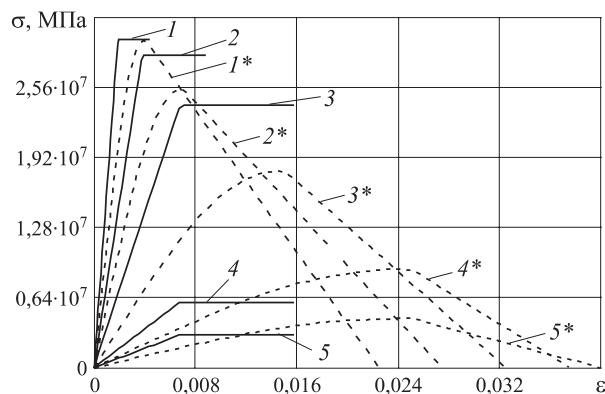


Рис. 1. Модели деформирования бетона марки B30 согласно СТО 36554501-006-2006 (1–5) и EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2 (1*–5*) при разных температурах его нагрева: 1, 1* — 100 °C; 2, 2* — 300 °C; 3, 3* — 500 °C; 4, 4* — 700 °C; 5, 5* — 800 °C

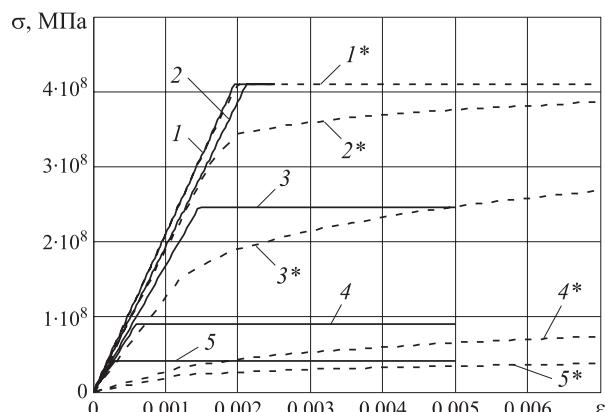


Рис. 2. Модели деформирования арматурной стали марки Ст. 3 согласно СТО 36554501-006-2006 (1–5) и EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2 (1*–5*) при разных температурах ее нагрева: 1, 1* — 20 °C; 2, 2* — 200 °C; 3, 3* — 500 °C; 4, 4* — 700 °C; 5, 5* — 800 °C

$$\mathbf{T}_n^T = \begin{bmatrix} n_x & 0 & 0 & n_y & 0 & n_z \\ 0 & n_y & 0 & n_x & n_z & 0 \\ 0 & 0 & n_z & 0 & n_y & n_x \end{bmatrix} — \text{матрица на- правляющих косинусов к нормали заданной пло- щадки.}$$

Для решения данной системы уравнений применяется МКЭ в комплексе с методом приближений Ньютона–Рафсона.

Для составления основных разрешающих уравнений для данной системы уравнений документами [4, 5] определяются законы деформирования для бетона и арматурной стали (рис. 1 и 2). Температурные зависимости предела прочности на растяжение бетона [4] показаны на рис. 3. Температурные деформации с учетом температурной усадки представлены на рис. 4 и 5.

Для описания трещинообразования в конечном элементе (КЭ) применена теория прочности [7, 8],

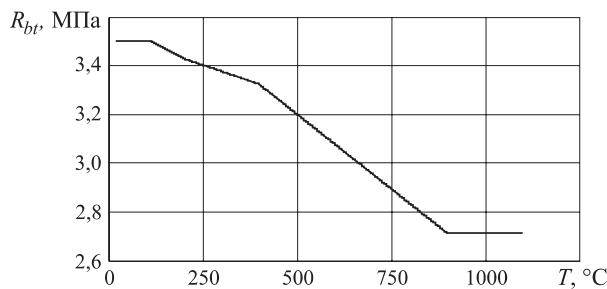


Рис. 3. Зависимость предела прочности бетона на растяжение от температуры

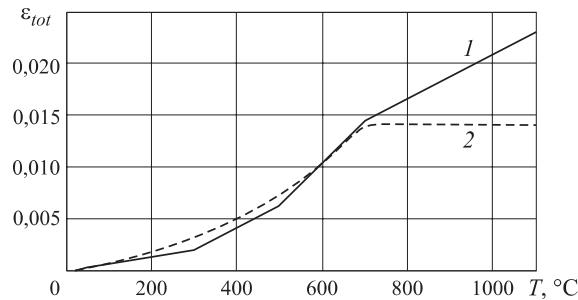


Рис. 4. Модели температурных деформаций тяжелого бетона на гранитном заполнителе: 1 — по СТО 36554501-006-2006; 2 — по EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2

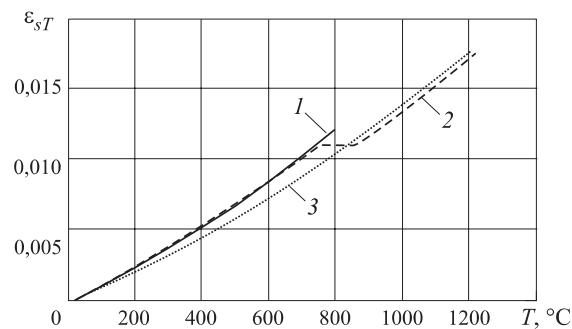


Рис. 5. Модели температурных деформаций арматурной стали: 1 — по СТО 36554501-006-2006; 2 — по EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2, ненапряженная арматура; 3 — то же, предварительно напряженная арматура

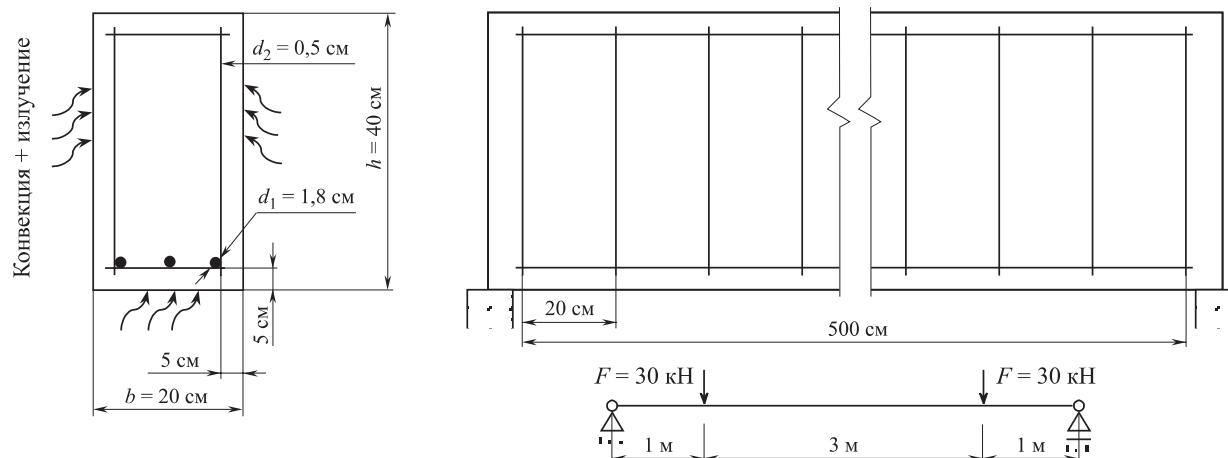


Рис. 6. Расчетная схема железобетонной балки

которая прогнозирует разрушение хрупких материалов. При этом учитываются механизмы как трещинообразования, так и разрушения при дроблении.

Критерий разрушения бетона при сложном напряженном состоянии может быть выражен следующим образом [7, 8]:

$$F/R_b - S \geq 0, \quad (7)$$

где F — функция состояния главных напряжений ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$).

Если условие (7) не выполняется, то трещинообразование не происходит. При этом все напряженные состояния ограничиваются определенной поверхностью площадью S , которая называется поверхностью разрушения. Эта поверхность определяется главными напряжениями и пятью прочностными параметрами: $R_b, R_{bt}, R_{cb}, R_{cbl}$ и $R_{bt\sigma}$.

Согласно теории прочности Willam и Warnke [8] поверхность разрушения может быть задана с использованием пределов прочности на сжатие R_b и на растяжение R_{bt} . Остальные параметры можно определить по формулам:

$$R_{cbl} = 1,2R_b; \quad R_{bt\sigma} = 1,45R_b; \quad R_{cb} = 1,725R_b. \quad (8)$$

Критерий прочности (7) является составным, и поверхность разрушения строится на основе рассмотрения четырех возможных вариантов разрушения.

Для моделирования принятая балка (рис. 6), которая нагревается при пожаре с трех сторон.

Прочностные характеристики бетона и арматуры сведены в табл. 3.

Задача решалась в два этапа.

На первом этапе проводилась предварительная верификация модели при сравнении результатов экспериментов по испытанию железобетонной балки на изгиб с экспериментальными данными, приведенными в работе [8]. Для этого была смоделирована железобетонная балка с идентичной геометрией и начальными параметрами.

Таблица 3. Прочностные характеристики железобетона

Параметр	Значение параметра
Начальная прочность бетона, МПа:	
на сжатие	3,1
на растяжение	3,5
Коэффициент передачи касательных напряжений через трещину в бетоне:	
открытую	0,3
закрытую	1,0
Начальная прочность стали, МПа:	
на сжатие	410
на растяжение	410
Начальный модуль упругости стали, МПа	$2,1 \cdot 10^5$

На втором этапе, после верификации используемых математических моделей, было проведено математическое моделирование поведения железобетонной балки во время пожара. При моделировании была воспроизведена история нагружения балки — сначала механическими, а затем — температурными нагрузками. Моделирование проводилось при помощи универсальной компьютерной МКЭ-системы ANSYS Multiphysics.

Результаты

Результаты верификации математических моделей свойств материалов по зависимости поперечной силы от максимального прогиба балки представлены на рис. 7.

Результаты расчета показали, что наиболее близкими к результатам эксперимента оказались данные,

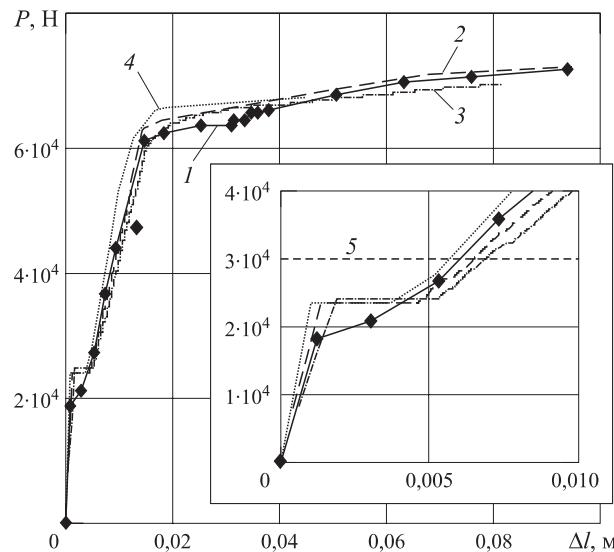


Рис. 7. Сравнительный анализ математических моделей механических свойств при нагружении балки до ее разрушения: 1 — данные эксперимента согласно [8]; 2 — результаты расчета согласно [8]; 3 — результаты расчета согласно [4]; 4 — результаты расчета согласно [5]; 5 — сила, действующая на балку

полученные на основе математических моделей свойств, указанных в нормах [4].

При моделировании поведения железобетонной балки в качестве нагрузок использовались температуры в узлах КЭ, полученные в результате решения теплотехнической задачи. С использованием формул (1), (2) и ТФХ согласно табл. 1 с помощью МКЭ-системы ANSYS Multiphysics была решена теплотехническая задача. Результаты этого решения представлены на рис. 8.

Анализируя рис. 8, можно заметить, что данные, рассчитанные по математическим моделям [4], более правдоподобны, потому что учитывают характерную особенность поведения балки при нагреве, которая заключается в наличии участка с постоянной температурой около 100 °С, связанной с испарением и движением влаги в порах бетона.

При проведении моделирования поведения балки на первой стадии рассчитывалось НДС железобетонной балки при действии механических нагрузок до уровня, ограниченного прямой 5, как показано на рис. 7. Затем в качестве нагрузки прилагались

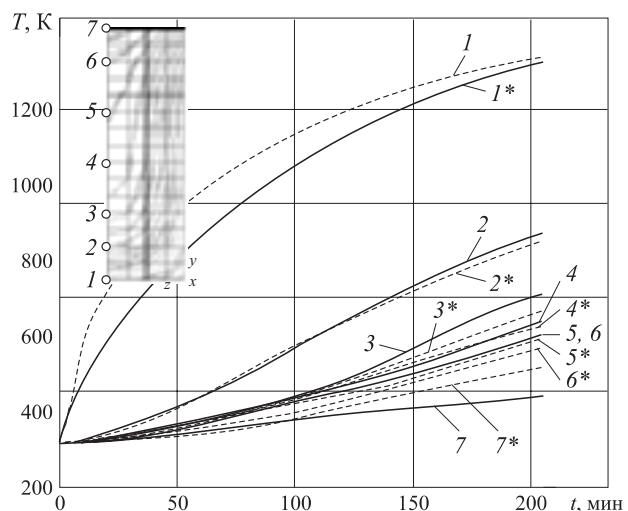


Рис. 8. Зависимости температуры от времени, рассчитанные для внутренних узлов сечения, по данным EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2 (1—5) и СТО 36554501-006-2006 (1*—5*)

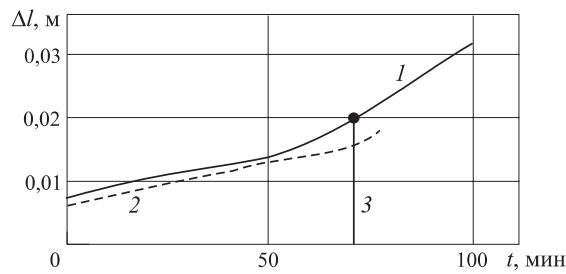


Рис. 9. Зависимость максимального прогиба балки от времени воздействия пожара: 1 — кривая, соответствующая материалам [4]; 2 — кривая, соответствующая материалам [5]; 3 — предел огнестойкости, определенный по упрощенным методикам [5]

узловые температуры, соответствующие определенному времени нагрева. Пошагово прикладывая температуры в узлах, получали НДС в разные моменты времени воздействия пожара. Расчет прекращался по достижении критических пластических деформаций в арматуре или в приповерхностных сжатых слоях бетона. Кроме того, вычислительный блок МКЭ-системы ANSYS прекращает расчет, если система КЭ приобретает свойства геометрически изменяемой системы при постоянных нагрузках с появлением соответствующего сообщения. Результаты расчетов представлены на рис. 9.

Анализ результатов расчета показывает, что предел огнестойкости наступает раньше, если в расчетных моделях используются данные норм [5].

Выводы

Данные исследований свидетельствуют об эффективности применения уточненных методов на основе использования МКЭ. Проведенный анализ результатов расчета также показал, что при использовании математических моделей нормативных документов [4, 5] при уточненном расчете фактических пределов огнестойкости с помощью МКЭ результаты отличаются на величину, близкую 20 мин, а при использовании упрощенных методик — на величину, близкую 30 мин.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данные, полученные по нормам [5], могут давать завышенные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Милованов, А. Ф.** Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А. Ф. Милованов. — М. : Стройиздат, 1998. — 304 с.
2. **Страхов, В. Л.** Огнезащита строительных конструкций / В. Л. Страхов, А. М. Крутов, Н. Ф. Давыдкин ; под ред. Ю. А. Кошмарова. — М. : Информационно-издательский центр "ТИМР", 2000. — 433 с.
3. **Lie, T. T.** A Procedure to Calculate Fire Resistance of Structural Members / T. T. Lie // International Seminar on Three Decades of Structural Fire Safety, 22–23 February, 1983. — P. 139–153.
4. **EN 1992-1-2:2005.** Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1–2: General rules — Structural fire design.
5. **СТО 36554501-006-2006.** Правила по обеспечению огнестойкости и огнезащиты железобетонных конструкций : утв. ФГУП "НИЦ "Строительство" 20 декабря 2006 г. ; ввод. в действие 1 ноября 2006 г. — М. : ФГУП "НИЦ "Строительство", 2006.
6. **Сахаров, В. С.** Метод конечных элементов в механике твердого тела / В. С. Сахаров, В. Н. Кислоокий, В. Р. Киричевский [и др.]. — К. : Вища школа, 1982. — 480 с.
7. **ANSYS** Theory Reference (Release 10.0). — ANSYS, Inc., SAS IP, Inc., USA, 2005. — 1286 p.
8. **Wolanski, Anthony J.** Flexural behavior of reinforced and prestressed concrete beams using finite element analysis. — Milwaukee, Wisconsin, 2004. — 87 p.

Материал поступил в редакцию 10 декабря 2009 г.

© Поздеев С. В., Тищенко И. Ю., 2010 г.

(e-mail: syp_countrymen@mail.ru).

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации

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

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

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

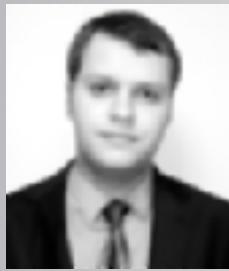
Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

ЭЛ. ПОЧТА:
[mail@firepress.ru;](mailto:mail@firepress.ru)
izdat_pozhnauka@mail.ru

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





А. А. Косачев

ассистент кафедры Московского
государственного строительного
университета, г. Москва, Россия

УДК 614.84

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Рассматриваются вопросы обеспечения пожарной безопасности в общественных зданиях в условиях действующего законодательства, а также целесообразности разработки специальных технических условий.

Ключевые слова: стилобат, атриум, "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", система предотвращения пожара, система противопожарной защиты.

Проблемы противопожарного нормирования в последний год стали предметом массового публичного обсуждения, а законодательство в этой области подверглось огульной критике со стороны как представителей государства, так и бизнес-сообщества. Однако, несмотря на неблагоприятные внешнеэкономические факторы и определенный юридический вакуум, создавшийся в области строительства с выходом "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" [1], процесс проектирования и возведения новых зданий все-таки продолжается.

Вопрос обеспечения пожарной безопасности при проектировании общественных многофункциональных зданий и сооружений различной этажности всегда сопровождался спорами. Под сомнение ставился вопрос о необходимости разработки и согласования специальных технических условий для таких зданий в порядке, установленном нормативными правовыми актами органов исполнительной власти (приказ МЧС России № 141 и приказ Минрегиона России № 36). Однако, как показывает опыт, проектировщики зачастую принимают решения, не отвечающие требованиям пожарной безопасности (и не только те, которые могут быть согласованы посредством СТУ).

Современное здание — это сложный "механизм", от функционирования которого во многом зависят основные процессы жизнедеятельности человека. Следует заметить, что при создании такого "механизма" необходимо решать ряд комплексных задач, таких как:

- обеспечение комфорта и простоты в процессе эксплуатации;

- реализация определенных экономических показателей;
- обеспечение безопасности.

Внедрение и применение современных научно-технических технологий, нестандартных решений на всех этапах проектирования и возведения зданий являются неотъемлемыми компонентами современного строительства.

Обеспечение пожарной безопасности, как известно, достигается комплексным подходом к системам:

- предотвращения пожара;
- противопожарной защиты.

Система предотвращения пожара — это комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара на объекте защиты [1].

Эта система предусматривает два способа предотвращения пожара: исключением горючей среды и исключением возможности образования источников зажигания в горючей среде. Оба этих способа применимы для производственных зданий, однако для общественных практически нереализуемы. Описание обоих способов нашло отражение в гл. 13 Федерального закона № 123-ФЗ. Что касается первого способа, то исключить пожарную нагрузку или ограничить ее значение не представляется возможным из экономических соображений, снижение же концентрации окислителя приведет к гибели людей. При втором способе в целях исключения образования источников зажигания возможно использование устройств защитного отключения (УЗО) и устройств, исключающих распространение пламени из одного объема в другой, смежный с ним (при

этом последний способ, по мнению автора, больше относится к системе противопожарной защиты: все-таки очаг где-то уже образовался, т. е. пожар произошел).

Система противопожарной защиты — это комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий их воздействия на объект защиты (продукцию) [1].

Одним из элементов системы противопожарной защиты является применение объемно-планировочных решений, обеспечивающих нераспространение пожара за пределы очага. В условиях сложности архитектурных решений и низкой эффективности работы систем пожарной автоматики организация внутреннего объема зданий является залогом обеспечения безопасности людей в случае пожара.

Для современных общественных зданий характерны следующие особенности:

- большие площади в пределах этажа, разделение которых на пожарные отсеки не представляется возможным (характерно для многофункциональных торгово-развлекательных центров);
- значительная высота, представляющая основную опасность в связи с отсутствием на вооружении подразделений пожарной охраны соответствующей техники;
- наличие помещений различного функционального назначения;
- наличие подземных этажей;
- наличие "сквозных", общих для всех этажей, лестничных клеток, лифтовых шахт, инженерных коммуникаций;
- наличие в зданиях подземных этажей, доступ в которые затруднен;
- наличие открытых лестниц 2-го типа (эскалаторов, травалаторов), предусмотренных на всю высоту здания (характерно для многофункциональных торгово-развлекательных центров);
- наличие стилобатных частей здания;
- наличие многосветовых пространств (пассажей, галерей, атриумов);
- массовое скопление людей на этажах зданий;
- значительная протяженность путей эвакуации;
- применение новых строительных и отделочных материалов.

Указанные аспекты в той или иной мере влияют на безопасность людей во время пожара и, следовательно, должны учитываться при проектировании систем противопожарной защиты здания. В целях обеспечения комплексного проектирования многофункционального высотного здания (МВЗ) создание системы противопожарной защиты не представляется возможным изолированно от всего процесса проектирования здания. Проектирование мер

пожарной безопасности, создание проекта здания и окружающего пространства должны осуществляться одновременно. Единственный способ выработать комплексное решение в отношении мер пожарной безопасности состоит в том, чтобы рассматривать воздействие параметров здания на динамику распространения опасных факторов пожара и движения людских потоков в зависимости от времени.

Остановимся подробнее на некоторых из указанных особенностей современных зданий и способов обеспечения безопасности людей при пожаре.

Большие площади в пределах этажа, характерные для многофункциональных торгово-развлекательных центров, как правило, обуславливают наличие значительной по величине удельной пожарной нагрузки и, как следствие, возможность беспрепятственного распространения огня внутри здания. Данный факт существенно осложняет действия подразделений ГПС при борьбе с огнем.

Действующее законодательство во многом упростило задачу проектировщикам, закрепив в качестве преград, препятствующих распространению пламени:

- противопожарные стены;
- противопожарные перегородки;
- противопожарные перекрытия;
- противопожарные разрывы;
- противопожарные занавесы, шторы и экраны;
- противопожарные водяные завесы;
- противопожарные минерализованные полосы.

При этом возникает еще одна проблема — деление на пожарные отсеки. Согласно определению *пожарный отсек — это часть здания, сооружения и строения, выделенная противопожарными стенами и противопожарными перекрытиями или покрытиями, с пределами огнестойкости конструкции, обеспечивающими нераспространение пожара за границы пожарного отсека в течение всей продолжительности пожара.* При этом в ч. 5 ст. 88 [1] указано, что противопожарные стены должны возводиться на всю высоту здания, сооружения, строения. Тогда возникает вопрос, каким образом произвести разделение на пожарные отсеки, например, подземных автостоянок. В соответствии с п. 26 "м" Постановления правительства РФ № 86 от 16.02.08, если в здании предусматривается подземная автостоянка площадью более 3000 м², для такого здания в любом случае необходимо производить расчет пожарного риска, поскольку разделить автостоянку на пожарные отсеки не представляется возможным.

Значительная высота зданий представляет опасность по нескольким причинам. Во-первых, в случае загорания на этажах, расположенных в уровнях отметок, превышающих 50 м относительно уровня земли, существенно осложняется тушение пожара. Кроме того, при спуске по лестницам высотного здания люди подвергаются дополнительной опасности,

поскольку эвакуация по лестнице занимает слишком много времени и они начинают испытывать усталость, головокружение и пр. Так, в ходе исследований было установлено, что спуск по пожарной лестнице на 1-й этаж в 42-этажном здании занимает 12 мин. При спуске на 1-й этаж в 100-этажном здании может потребоваться пять остановок для отдыха. И если каждая остановка занимает от 60 до 120 с, то для спуска потребуется от 1900 до 2800 с, что неприемлемо с точки зрения безопасности [2].

В то же время в соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ [1] эвакуация считается обеспеченной в том случае, если эвакуирующиеся вышли непосредственно наружу или в безопасную зону. Объем незадымляемой лестничной клетки, с одной стороны, можно отнести именно к такой зоне, а с другой — возникновение скоплений в объемах незадымляемых лестничных клеток может привести к весьма тяжелым последствиям (напомним, что в соответствии с методикой определения расчетных значений пожарного риска критическим временем скопления считается плотность потока $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ при продолжительности более 6 мин), избежать которых можно посредством поэтапного применения алгоритма системы оповещения и управления эвакуацией.

Обеспечение пожарной безопасности высотных зданий вообще имеет ряд особенностей, объяснить которые достаточно сложно. В практике противопожарного нормирования принято, что для зданий всех классов пожарной опасности, кроме Ф 1.3, высотой более 50 м конструкции должны отвечать требованиям, предъявляемым к конструкциям зданий “особой” степени огнестойкости, т. е. для несущих элементов предел огнестойкости должен быть не менее R 180. Однако для жилых многоквартирных зданий высотой более 50 м и менее 75 м допускается предусматривать I степень огнестойкости. При этом следует заметить, что в соответствии с приложением 5 [3] время, через которое начинается эвакуация людей в жилых зданиях, может достигать 9 мин.

Следует также отметить еще одну проблему, связанную с обеспечением пожарной безопасности высотных общественных зданий. В случае использования безбалочных монолитных перекрытий для

деления высотных зданий на пожарные отсеки по вертикали их предел огнестойкости должен соответствовать пределу огнестойкости противопожарных перекрытий, что является весьма трудно реализуемым и дорогостоящим мероприятием.

Наличие помещений различного функционального назначения обуславливает присутствие в современных зданиях пожарной нагрузки с различными пожарно-техническими характеристиками и физико-химическими свойствами. В связи с этим при определении пожарного риска на объекте защиты расчет необходимо выполнять для сценариев возгорания в помещениях с различной пожарной нагрузкой.

Разделение помещений различного функционального назначения следует производить в соответствии с требованиями ст. 88 Федерального закона № 123-ФЗ [1]. Как правило, разделение помещений различного функционального назначения достигается функциональной схемой здания.

Наличие на объектах защиты многосветовых пространств представляет особую опасность. Быстрое распространение опасных факторов пожара по вертикали, массовые скопления людей в пространствах, прилегающих к атриумам (галереям, пассажам), — все это создает серьезную угрозу жизни и здоровью посетителей.

Атриумы, как правило, представляют опасность при высоте здания (или пожарного отсека) менее 20 м, поскольку свободный объем в зданиях большей высоты, как правило, нивелирует темп задымления эвакуационных путей. В отечественной практике широкое применение нашли стационарные противодымные экраны из негорючих материалов, защищающие проемы в перекрытиях по периметру. Однако моделирование пожаров в зданиях с многосветовыми пространствами, неоднократно проводившееся сотрудниками МГСУ, показало, что требуемая эффективность использования таких экранов достигается только при наличии систем дымоудаления с механическим побуждением тяги. Это связано с тем, что создаваемые дымовые карманы, положительно влияя на динамику распространения дыма на вышележащие этажи, увеличивают задымление эвакуационных путей на этаже пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. Lift Logic / Albert So, Terence Lai, Janson Yu. // Fire Prevention & Fire Engineers Journal. — August 2003. — Р. 26–28.
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарегистрирован в Министерстве РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 [электронный ресурс]. URL : <http://www.mchs.gov.ru>.

*Материал поступил в редакцию 3 декабря 2009 г.
© Косачев А. А., 2010 г. (e-mail: nto_nii@mail.ru).*



В. А. Седнев

д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой Академии
Государственной противопожарной
службы МЧС РФ, г. Москва, Россия



И. А. Лысенко

доцент Академии Государственной
противопожарной службы МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 351.86

ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ УБЕЖИЩ ОТ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ПОЖАРОВ В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

Рассмотрен один из поражающих факторов массовых пожаров — тепловое воздействие и его влияние на убежища; предложены меры, выполнение которых приведет к снижению негативного теплового воздействия на ограждающие конструкции убежища. Кроме того, представлен порядок проведения расчета теплового воздействия на ограждающие конструкции убежища, что позволит выбрать рациональный способ его защиты.

Ключевые слова: убежище, гражданская оборона, тепловое воздействие, массовый пожар.

Анализ военно-политических концепций стран — членов НАТО указывает на то, что в мире сохраняются предпосылки, способствующие развязыванию военных действий против Российской Федерации, в том числе с применением ядерного оружия. Один из основных способов защиты населения в военное время — укрытие в защитных сооружениях гражданской обороны. Неизбежным спутником ведения боевых действий является возникновение массовых пожаров в городской застройке. Проверки защитных сооружений гражданской обороны (ЗСГО), проводимые надзорными органами МЧС, выявили недостаточное внимание, уделяемое должностными лицами, отвечающими за содержание убежищ, вопросам, связанным с защитой от поражающих факторов пожаров.

Пожары, которые неизбежно возникнут в очаге поражения в результате применения как ядерного оружия, так и обычных средств поражения, представляют серьезную опасность для людей, укрывающихся в защитных сооружениях. Здесь можно вспомнить бомбардировки авиацией союзников во время Второй мировой войны Дрездена, Токио и т. д., в результате которых количество погибших было сопоставимо с числом жертв атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки. При этом установлено, что значительная часть населения погибла от поражающих факторов возникших массовых пожаров.

Опыт Второй мировой войны и исследований, проводившихся в послевоенный период, свидетельствует о том, что непосредственно в зоне пожаров зданий температура может достигать 300–1000 °C [1, 2, 4]. При массовых пожарах произойдет прогрев

ограждающих конструкций, что приведет к резкому повышению температуры внутри защитного сооружения. Здесь хотелось бы отметить, что при нахождении в убежище людей температура воздуха внутри помещения и без того может достигать 30 °C [1–3], дальнейшее же ее повышение может привести к тепловому удару и даже гибели людей.

Ограждающие конструкции защитных сооружений при массовых пожарах, возникающих в результате ЧС военного времени, могут испытывать следующие тепловые воздействия: кратковременное воздействие (КВ) продолжительностью до 12 ч непосредственно от очага пожара и нагретого воздуха; длительное воздействие (ДВ) продолжительностью более 12 ч от прогретого завала, образовавшегося в здании в результате обрушения междуэтажных перекрытий и перегородок при наступлении предела их огнестойкости [5].

Допустимые тепловлажностные параметры воздуха в убежищах при ограниченной воздухоподаче поддерживаются в основном за счет аккумуляции тепла, выделяемого людьми и оборудованием, ограждающими конструкциями.

В условиях теплового воздействия массового пожара отвод тепла из сооружения ухудшится, а при недостаточной толщине ограждений будет наблюдаться приток тепла извне, что несомненно ухудшит защитные свойства убежища. В связи с этим ограждения и входные устройства защитных сооружений должны быть соответствующим образом теплоизолированы, что достигается увеличением толщины несущей конструкции или устройством теплоизолирующего слоя, экранов и продухов.

Теплоизолирующий слой может устраиваться как на наружной, так и на внутренней поверхности ограждения. Наружная теплоизоляция изготавливается из несгораемых материалов с низким коэффициентом температуропроводности (шлака, песка, керамзитового гороха, пемзы, шлакобетона и др.). Для устройства внутренней теплоизоляции используются специальные теплоизоляционные маты, плиты, скроллы, панели, листовые материалы.

Экраны, предназначенные для защиты людей от лучистого тепла, исходящего от нагретой внутренней поверхности ограждения, изготавливаются из листовых строительных материалов (металла, асбосицера, фанеры и др.) и устанавливаются на внутренней поверхности ограждающих конструкций в местах постоянного пребывания людей. Наибольший эффект достигается при двойных экранах, установленных на расстоянии 10–15 мм от внутренней поверхности ограждения и друг от друга.

Для снижения тепловой нагрузки, действующей на перекрытие защитного сооружения, и уменьшения необходимой защитной толщины могут устраиваться продухи. Они представляют собой открытые сверху (или закрытые какой-либо сгораемой конструкцией) каналы, расположенные перпендикулярно длине здания. Ширина и шаг продухов (расстояние между их осами) должны быть не более 0,4 м, глубина — не менее 0,3 м. В зданиях, междуэтажные перекрытия которых изготавливаются из железобетонных панелей, ширина продухов может быть увеличена до 1 м. Продухи целесообразно устраивать на перекрытиях встроенных защитных сооружений, расположенных в зданиях, междуэтажные перекрытия которых при наступлении предела огнестойкости обрушаются.

Задача расчета ограждений на прогрев заключается в определении температуры их внутренних поверхностей. Искомая температура в общем виде может быть представлена как функция многих параметров:

$$t = f(t_{\text{вн.в}}; h; a; B; H; t_{\text{нач}}^{\text{огр}}; t_{\text{нач}}^{\text{гр}}; \alpha_h; \alpha_{\text{вн}}, \dots), \quad (1)$$

где $t_{\text{вн.в}}$ — внешнее тепловое воздействие;

h — толщина рассчитываемой конструкции;

a — коэффициент температуропроводности материала ограждения;

B — ширина защитного сооружения;

H — высота защитного сооружения;

$t_{\text{нач}}^{\text{огр}}$ — начальная температура рассчитываемого ограждения;

$t_{\text{нач}}^{\text{гр}}$ — начальная температура грунта, окружающего защитное сооружение;

$\alpha_h, \alpha_{\text{вн}}$ — коэффициент теплообмена соответственно на наружной и внутренней поверхностях ограждения.

Расчет ограждающих конструкций на кратковременное тепловое воздействие проводится из условия

$$t_{\text{макс}} \leq t_{\text{пред}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{макс}}$ — максимальная температура на внутренней поверхности конструкции сооружения, °C; $t_{\text{пред}}$ — предельная температура на внутренней поверхности конструкции сооружения, °C; для убежищ принимается равной 30 °C (при устройстве у внутренней поверхности ограждения двойных экранов значение $t_{\text{пред}}$ увеличивается на 10 °C).

Величина $t_{\text{макс}}$ определяется по формуле

$$t_{\text{макс}} = A(a^{1,3}/h^2) \frac{1}{\varphi\psi} + t_{\text{нач}}, \quad (3)$$

где A — коэффициент, характеризующий общее количество тепла, действующего на ограждение; принимается по таблице в зависимости от типа расчетного теплового воздействия; h — полная толщина рассчитываемой конструкции, м,

$$h = \sum_{i=1}^m h_i; \quad (4)$$

h_i — толщина отдельных слоев многослойной конструкции, м;

m — число слоев;

a — коэффициент температуропроводности конструкции, м²/ч;

$$a = \left(\sum_{i=1}^m h_i \right)^2 / \left(\sum_{i=1}^m \frac{h_i}{\lambda_i} \sum_{i=1}^m c_i \gamma_i h_i \right); \quad (5)$$

λ_i, γ_i, c_i — коэффициент теплопроводности, объемная масса и теплоемкость i -го слоя, принимаемые в соответствии со СНиП II-А.7-62;

φ — коэффициент, учитывающий влияние размера сооружения на температуру внутренней поверхности конструкции; при расчете стен защитного сооружения коэффициент φ во всех случаях принимается равным единице, а при расчете перекрытия определяется по формуле

$$\varphi = 1 + \frac{5,46 - B/H}{\tau_{\text{макс}}^{1,45}}; \quad (6)$$

B — ширина помещения (расстояние между наружными стенами, примыкающими к грунту,

Таблица коэффициентов A и K

Коэффициент	Тепловое воздействие				
	КВ-I	КВ-II	КВ-III	КВ-IV	КВ-V
$A \cdot 10^{-3}$	16,7	11,8	11	7,2	13,9
$K \cdot 10^{-3}$	13,0	17,2	17,8	21,0	15,4

или внутренними бетонными стенами толщиной не менее 0,4 м), м;

H — высота помещения (расстояние от поверхности пола до высшей точки внутренней поверхности перекрытия), м;

τ_{\max} — время наступления максимальной температуры на внутренней поверхности конструкции сооружения при кратковременном тепловом воздействии, сут;

$$\tau_{\max} = 0,15 \text{ при } \tau \leq 0,15; \quad \tau_{\max} = \tau \text{ при } \tau > 0,15; \quad (7)$$

$$\tau = K h^2 / a^{0,5}; \quad (8)$$

K — коэффициент, характеризующий общее количество тепла, действующего на ограждение; принимается по таблице в зависимости от типа расчетного теплового воздействия;

ψ — коэффициент, учитывающий влияние величины теплообмена на температуру внутренней поверхности ограждения;

$$\psi = 1 - (\tau_{\max}^{0,182} / 3,31) (1 - 0,1\alpha); \quad (9)$$

α — коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждения, ккал/(м²·ч·°C);

$t_{\text{нач}}$ — начальная температура рассчитываемой конструкции, принимаемая равной максимальной температуре грунта для данной местности, но не менее 15 °C.

При расчете ограждения с внутренней теплоизоляцией предельная температура материала теплоизоляции должна быть выше температуры внутренней, соприкасающейся с теплоизолирующим слоем поверхности ограждения, определяемой по формуле (3) при условии, что $\alpha = 0$, а $\varphi = 1$. Расчет теплоизоляции наружной двери защитного сооружения (например, в тамбур-шлюзе) производится в соответствии с изложенным методом теплового расчета перекрытий; разница состоит лишь в том, что при определении коэффициента φ за H принимается не высота помещения, как при расчете перекрытия, а длина тамбура; величина B соответственно равна высоте тамбура. В сооружениях, где теплопритоком через входные устройства можно пренебречь, расчет теплоизоляции наружной двери не выполняется.

Расчет перекрытий на длительное тепловое воздействие производится также из условия выполнения неравенства (1), в котором t_{\max} — наибольшая температура нижней поверхности перекрытия, °C, достигаемая за время пребывания людей в сооружении:

$$t_{\max} = f(\tau_{\text{экс}}) \text{ при } \tau_{\text{экс}} \leq \tau_{\text{пред}}; \quad (10)$$

$$t_{\max} = f(\tau_{\text{пред}}) \text{ при } \tau_{\text{экс}} > \tau_{\text{пред}},$$

где $\tau_{\text{пред}}$ — предельное время пребывания людей в сооружении, сут;

$\tau_{\text{экс}}$ — время достижения на нижней поверхности перекрытия максимального (экстремального) значения температуры, сут; определяется по графику функции $f(\tau)$;

$f(\tau)$ — функция изменения температуры на нижней поверхности перекрытия в зависимости от времени τ ;

$$t = f(\tau) = \frac{230e^{-\xi\tau^\delta}}{\varphi\psi} + t_{\text{нач}} \text{ при } 0,5 \leq \tau \leq 10 \text{ сут}; \quad (11)$$

τ — время с момента начала пожара, сут;

ξ, δ — эмпирические коэффициенты;

$$\xi = 1,1 \frac{\tau}{n} + \frac{\delta h}{\tau} + 0,05 \frac{h}{a^{0,66}} - 0,25; \quad (12)$$

$$\delta = 0,112h/a^{0,41};$$

n — этажность здания, расположенного над защитным сооружением;

h, a — параметры, вычисляемые по формулам (4) и (5);

φ, ψ — коэффициенты, определяемые по формулам (6) и (9) для любого момента времени в пределах от 0,5 до 10 сут;

$t_{\text{нач}}$ — начальная температура рассчитываемой конструкции, определяемая так же, как и при расчете на кратковременное тепловое воздействие.

При устройстве внутренней теплоизоляции температура поверхности ограждения, соприкасающейся с теплоизолирующим слоем, так же как и при кратковременном тепловом воздействии, не должна превышать предельную температуру выбранного теплоизоляционного материала в соответствии со СНиП I-В.26-62. Температура внутренней поверхности ограждения, соприкасающейся с теплоизолирующим слоем, определяется по формуле (11) при условии, что $\alpha = 0$, а $\varphi = 1$. Тепловое воздействие массовых пожаров не только является причиной нагрева ограждающих конструкций, но и приводит в ряде случаев к значительному снижению их расчетной несущей способности и нарушению герметичности сооружения.

Особую опасность прогрев представляет для перекрытия защитного сооружения как наиболее нагруженной конструкции, поэтому несущая способность перекрытия должна определяться не только по силовому воздействию, но и по тепловой нагрузке [5]. При расчете перекрытий принимается:

1) несущая способность перекрытия до прогрева q_1 соответствует расчетной эквивалентной статической нагрузке для данного защитного сооружения;

2) несущая способность перекрытия после расчетного теплового воздействия пожара q_2 не должна быть менее 0,15 кгс/см² в зданиях высотой до трех этажей и 0,3 кгс/см² — выше трех этажей, поскольку основной нагрузкой на перекрытия встроенных

защитных сооружений при массовом пожаре является нагрузка от обрушающихся конструкций;

3) влияние ударной волны при определении величины q_2 не учитывается, так как возникновение массовых пожаров возможно только при давлении на фронте ударной волны не более $0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$, при котором ограждающие конструкции защитного сооружения не достигают расчетных предельных состояний.

Величина q_2 в пределах точности инженерных расчетов может быть определена из условия, что сжатый слой бетона h_1 , температура которого достигла 500°C и выше, в работе сечения не участвует. Поэтому расчет несущей способности перекрытий с учетом тепловой нагрузки должен производиться при тепловых воздействиях, при которых наружная температура может превышать 500°C . В других случаях влиянием прогрева на несущую способность перекрытий можно пренебречь.

Порядок расчета перекрытия с учетом его прогрева при пожаре можно рассмотреть на примере однопролетной балки. Для однопролетной железобетонной конструкции q_2 определяется по формуле

$$q_2 = \left[8A_s R_s h_0^1 \left(1 - \mu \frac{R_s}{R_i} \right) \right] / (bl^2), \quad (13)$$

где A_s — площадь поперечного сечения арматуры, см^2 ;

R_s — расчетное сопротивление арматуры, $\text{кгс}/\text{см}^2$;

h_0^1 — рабочая высота сечения после нагрева конструкции, см;

R_i — расчетное сопротивление бетона, сжатого при изгибе, $\text{кгс}/\text{см}^2$;

b — ширина сечения, см;

l — расчетный пролет конструкции, см;

μ — коэффициент армирования;

$$\mu = A_s / (b h_0);$$

$$h_0 = h_0^1 - h_1; h_1 = 652a^{0.65}; \quad (14)$$

h_0 — рабочая высота сечения до нагрева конструкции, см;

h_1 — высота слоя бетона с температурой 500°C и более, см.

При наличии над перекрытием слоя теплоизоляции h_{iz} толщина слоя h_1^{iz} , прогретого до 500°C ,

находится по формуле (14) после подстановки в нее вместо коэффициента температуропроводности железобетона коэффициента температуропроводности теплоизоляции. Если $h_1^{iz} < h_{iz}$, проверка способности перекрытия не производится; если $h_1^{iz} > h_{iz}$, величина h_1^{iz} рассчитывается заново с коэффициентом температуропроводности, найденным по формуле (5), после чего по формуле (13) определяется величина q_2 , которая не должна быть меньше указанной в настоящем разделе.

Для того чтобы предотвратить нарушение герметичности сооружения, необходимо предусматривать защиту герметизирующих материалов теплоизолющим слоем, обеспечивающим сохранение их свойств при нагреве ограждений во время пожаров. В связи с тем что предельная температура для герметизирующего материала, как правило, значительно ниже 500°C , расчет защитного теплоизолирующего слоя следует производить при воздействии практически любой тепловой нагрузки. В тех случаях, когда защитный теплоизолирующий слой рассчитан из условия поддержания на поверхности герметизирующего материала температуры ниже 500°C , дополнительная проверка несущей способности ограждений по тепловой нагрузке может не производиться.

Существенное влияние на общую герметичность сооружения может оказать также прогрев входных устройств, в частности их резиновых герметизирующих прокладок. В особенности это относится к наружной двери сооружения, герметизирующие прокладки которой при тепловом воздействии в случае массовых пожаров прогорают. Прокладки внутренней герметической двери при этом сохраняются, поскольку при нормативных размерах тамбура температура нагрева внутренней двери во время пожара не превышает 100°C .

Применение для изготовления герметизирующих прокладок термостойкой резины или других подходящих для этой цели материалов (например, асбестового шнура) позволит предотвратить снижение герметичности сооружения при массовых пожарах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СНиП II-11-77***. Защитные сооружения гражданской обороны : утв. Госстрой СССР 13 октября 1977 г. ; ввод. в действие 1 июля 1978 г. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987.
2. **Креммерер, Ю. Ю.** Защитные сооружения гражданской обороны : учебное пособие. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 248 с.
3. Справочник по противопожарной службе гражданской обороны. — М. : Воениздат, 1982. — 144 с.
4. **Шульгин, В. Н.** Особенности расчета защитных сооружений гражданской обороны при воздействии обычных средств поражения и в особых условиях : учебное пособие. — Новогорск, 2000.
5. **Шульгин, В. Н.** Защитные сооружения гражданской обороны : науч.-практ. труд. — Калуга, 2007.

Материал поступил в редакцию 29 октября 2009 г.
© Седнев В. А., Лысенко И. А., 2010 г. (e-mail: lisenko70@inbox.ru)



P. V. Котельников
руководитель Центра мониторинга
пожарной опасности ФГУ “Авиалесоохрана”,
г. Пушкино Московской обл., Россия



Н. А. Коршунов
канд. с.-х. наук, начальник Авиационного
учебного центра ФГУ “Авиалесоохрана”,
г. Пушкино Московской обл., Россия

УДК 630*432.331

МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЕ В ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Описано существующее состояние дел с метеообеспечением Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз); анализируются проблемы и предлагаются основные пути их решения.

Ключевые слова: ИСДМ-Рослесхоз, метеоинформация, пожарная опасность, прогноз, мониторинг.

Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), запущенная в эксплуатацию в 2005 г. как система мониторинга крупных лесных пожаров, постепенно превращается в комплексную информационную систему мониторинга лесов в целом, которая решает не только пожарные, но и задачи лесозащиты, лесопользования и т. п. Основная функция ИСДМ-Рослесхоз на данный момент — обеспечение дистанционного контроля федеральным центром полномочий в области лесного хозяйства, переданных Лесным кодексом в ведение субъектов Российской Федерации.

Вопреки бытующему мнению космические методы хотя и играют ведущую роль, но далеко не единственный источник информации в ИСДМ-Рослесхоз. В систему поступают статистические данные субъектов Российской Федерации, оперативные сводки специализированных служб и подразделений, полученные на основе наземных и авиационных наблюдений за ситуацией. Отчеты и сводки включают в себя не только производственные, но и финансовые показатели. В расчетах используется много справочников и классификаторов, тематических архивных данных (например, карты лесов, границы административно-территориального деления и т. д.).

Очень важную роль в процессе мониторинга играет метеоинформация. Рассмотрим виды метеорологических продуктов, используемых в ИСДМ-Рослесхоз.

1. Значение метеопараметров по каждой метеостанции.
 - 1.1. Фактические метеопараметры в каждый стандартный срок наблюдения (температура, точка росы, осадки, ветер и т. д.).

- 1.2. Прогнозные значения метеопараметров на 5 дней.
2. Текстовые сводные данные по регионам.
 - 2.1. Преобладающие и максимальные температуры, процент метеостанций с зарегистрированными осадками (в том числе более 3 мм), максимальные осадки.
 - 2.2. Прогнозные данные на 24, 48, 72, 96 и 120 ч.
 - 2.3. Стандартные метеобюллетени.

3. Слайды, генерируемые с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) “Синоптик” системы “ТИС-Метео-Митра”.

- 3.1. Автоматическое формирование типовых слайдов.
- 3.2. Формирование по запросу данных по интересующему региону.

4. Данные системы регистрации молниевых разрядов.

- 4.1. Координаты мест разрядов.
- 4.2. Амплитуда разряда в условных единицах.

5. Консультации специалистов Росгидрометцентра.

- 5.1. Ежедневные консультации по телефону.
- 5.2. Разовые запросы информации.

Большинство указанных данных доступно пользователям ИСДМ-Рослесхоз уже в преобразованном (обработанном) виде.

Производные продукты, сформированные с учетом метеоданных, можно разбить на следующие группы:

1. Оперативный расчет пожарной опасности по условиям погоды.
 - 1.1. Типовые отчеты:
 - Форма-1-Метео “Показатели пожарной опасности по условиям погоды” (ежедневно);
 - Форма-2-Метео “Дневник пожарной опасности в лесу по условиям погоды” (данные

- по стандартным срокам наблюдений — через 3 или 6 ч).
- 1.2. Тематические карты по Российской Федерации и федеральным округам:
 - классы пожарной опасности (Нестерова, региональные, ПВ-1, ПВ-2);
 - максимальные суточные температуры;
 - суммарные осадки за сутки и ночные осадки за сутки.
 2. Отображение метеоинформации в комбинированном интерфейсе:
 - направление ветра;
 - отметки мест молниевых разрядов (плюсовые и минусовые).
 3. Прогноз пожарной опасности:
 - краткосрочные прогнозы в виде карт и отчетных форм;
 - карты долгосрочных прогнозов пожарной опасности.
 4. Аналитические формы и отчеты:
 - карты вероятности возникновения пожаров от гроз (рис. 1);
 - оценка достоверности информации о лесных пожарах;

– анализ эффективности работ по тушению лесных пожаров.

Имеющаяся метеоинформация играет большую роль при прогнозировании пожарной опасности лесов по условиям погоды. Однако существует ряд проблем. Одна из важнейших проблем — недостаточная плотность сети метеостанций (рис. 2), особенно в многолесных сибирских и дальневосточных регионах.

Создание дополнительных метеостанций — наиболее затратный способ решения этой проблемы, хотя и может дать положительный эффект сразу в интересах многих отраслей экономики. Другие пути решения данной проблемы рассмотрены ниже.

Имеется и еще одна проблема. При переходе на централизованный расчет классов пожарной опасности и ряда других показателей в ИСДМ-Рослесхоз используются официальные данные Росгидромета, собранные в утвержденные сроки наблюдений по гринвичскому времени (в зависимости от категории метеостанции через каждые 3 или 6 ч). Для качественного расчета класса пожарной опасности необходимо брать температуру воздуха и точки

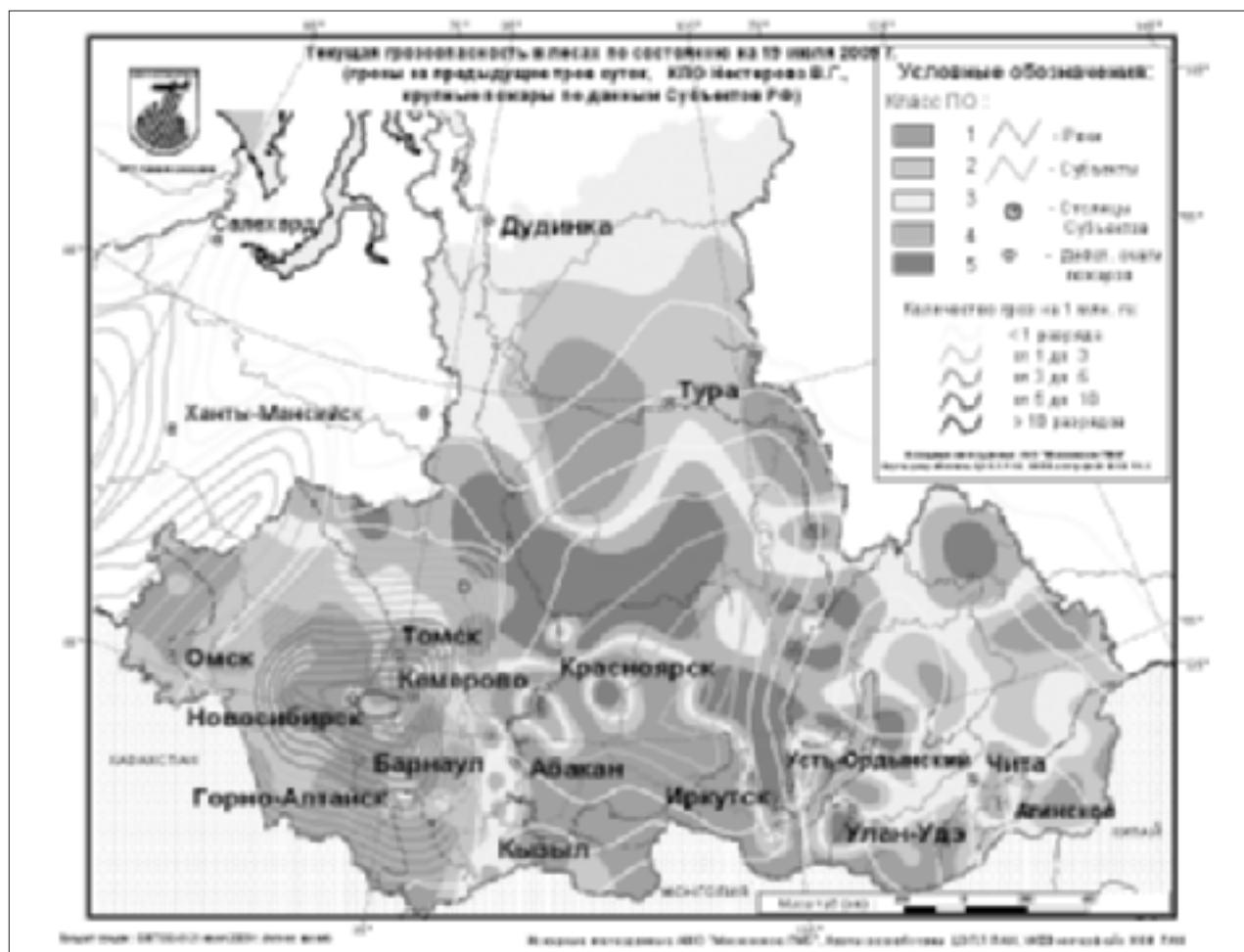


Рис. 1. Пример карты по текущей грозопасности в лесах

росы на 14:00 по местному времени. Из-за жесткой временной сетки для территорий в определенных часовых поясах это не всегда возможно, тем более с учетом задержки на сбор и обработку информации. Кроме того, установлены стандарты, например, на замер ночных осадков (с 21:00 до 9:00 утра по местному времени). Для принятия решения, например, о постановке в план лесопатрульного воздушного судна информация о ночных осадках должна приходить не позднее 8:30 утра по местному времени для каждого субъекта, что при существующей схеме обеспечения ИСДМ-Рослесхоз метеоданными невозможно. Корректировка сложившихся стандартов на сроки и объемы сбора официальной информации вряд ли возможна в обозримом будущем.

Существует несколько вариантов решения этой проблемы:

1. Создание дополнительной сети сбора информации с существующих метеостанций.

На метеостанциях и метеопостах (только на тех, с которых наиболее необходимо получать данные на момент между стандартными сроками) устанавливается оборудование (или модернизируется существующее), которое, не изменяя существующего регламента предоставления информации в Гидрометцентр, дополнительно отсылает часть метеоинформации по другому графику в другой адрес (например, в ИСДМ-Рослесхоз).

2. Создание независимой сети сбора и передачи данных.

Создание новой метеостанции или даже метеопоста и включение ее в реестр Росгидромета требуют соблюдения всех необходимых ГОСТов и стандартов. Для задач прогнозирования пожарной опасности требуется существенно меньший перечень показателей и более мягкие требования по точности и надежности предоставления данных. Предлагается реализовать техническую возможность сбора метеоинформации в специализированных лесопожарных организациях (на пожарно-химических станциях, в оперативных отделениях авиационной охраны лесов и т. п.), а также на объектах экономики, расположенных в лесном фонде и потенциально подверженных лесным пожарам.

Технически передача информации, в зависимости от класса лесопожарной опасности объекта и от уровня его оснащения техническими и телекоммуникационными средствами, может быть реализована одним из следующих способов:

а) замером нужных метеопараметров оператором (с использованием автономных приборов, например термометра и т. п.) и передачей данных в ИСДМ-Рослесхоз путем ввода данных через web-интерфейс или SMS-сообщение. Несмотря на устаревшие (ручные) технологии, метод может быть без финансовых затрат внедрен сразу на большом числе объектов;



Рис. 2. Распределение метеостанций по территории Российской Федерации

б) установкой малогабаритной метеостанции (пример — на рис. 3), способной выдавать необходимые параметры для оператора в реальном масштабе времени, а также автоматическую передачу сообщений в ИСДМ-Рослесхоз по каналу Интернет или сотовому каналу (GSM);

в) автоматическим сбором данных с помощью специально разработанного миниатюрного необслуживаемого метеодатчика с автоматической (по графику) пересылкой информации в ИСДМ-Рослесхоз.

Разработка дешевых, миниатюрных, необслуживаемых метеодатчиков в антивандальном исполнении с функцией автоматической пересылки, например, по сотовому каналу (технические предпосылки уже имеются) позволит создать в зоне ответственности каждого специализированного подразделения, а также вокруг лесопожароопасных объектов густую сеть сбора метеопараметров.

Создание в регионах отдельных, пусть даже и типовых, аппаратно-программных комплексов для расчета класса пожарной опасности — довольно дорогостоящая задача. В связи с этим предлагается вынести процедуру расчета в ИСДМ-Рослесхоз.

Существующее программное обеспечение ИСДМ-Рослесхоз, формирующее прогностические продукты (например, растровые карты территорий со значениями классов пожарной опасности и т. д.), может после незначительной доработки, кроме стандартных данных Гидрометцентра, дополнительно принимать метеоинформацию с мест и формировать те же продукты, что и ранее, но с повышенной точностью, вблизи пожароопасных объектов (и вблизи метеостанций и метеодатчиков).

Кроме увеличения числа географических точек, в которых снимаются показания, имеется возможность проводить так называемую геопространственную интерполяцию данных с использованием дополнительной информации, получаемой с метеорологических спутников Земли. Такие работы сейчас активно ведутся в НИЦ “Планета”, Сибирском институте леса и целом ряде других организаций. Использовать эти методы необходимо, но делать ставку исключительно на них нельзя, так как, по

мнению экспертов, в ближайшее десятилетие точность космических методов не сможет соперничать с прямыми наземными измерениями.

Одна из проблем достоверной оценки класса пожарной опасности территории — сложность оценки характера осадков в окрестности метеостанций. Существующая методика накопительного расчета показателя пожарной опасности по условиям погоды сформировалась еще в 40–50-е годы прошлого века. Изначально методика подразумевала обнуление показателя после выпадения обложных осадков в количестве более 2,5 мм. Локальные грозовые осадки не учитывались, так как отдельная туча могла вызвать дождь в районе метеостанции, но на оставшейся контролируемой территории оставалась жаркая пожароопасная погода. Кроме того, гроза сама по себе могла вызвать новые источники огня. При ручном методе расчета класса пожарной опасности специалист-синоптик мог по совокупности всех показателей принять решение, обнулить показатель или нет.

При внедрении автоматизированного расчета класса пожарной опасности (без участия человека) специалисты не смогли разработать соответствующий алгоритм определения характера осадков и учитывали все осадки, основываясь только на их количестве. Это некорректно, но пока технически непреодолимо. В дальнейшем требования по характеру осадков были исключены из нормативных документов. Этот случай, возможно, единственный пример, когда развитие средств автоматизации привело к ухудшению качества (достоверности) расчета.

Возможные варианты решения этой проблемы заключаются в разработке:

- 1) алгоритмов автоматического распознавания характера осадков. Одним из критериев отнесения осадков к локальным может служить рекомендованная в одной из устаревших методик ситуация, когда в период выпадения осадков не меняется атмосферное давление и температура держится высокой — на уровне 20–25 °C;

- 2) методов геопространственной интерполяции значений показателя пожарной опасности по условиям погоды.

Обзор проблемных вопросов в области метеобеспечения ИСДМ-Рослесхоз будет неполным, если не упомянуть сложности прогноза поведения лесных пожаров. В настоящий момент, как впрочем и в середине прошлого века, существует множество различных подходов и методов прогнозирования распространения лесных пожаров. Для реализации большинства из них требуется информация о ветре, температуре и влажности непосредственно в районе лесного пожара (а не на ближайшей метеостанции).



Рис. 3. Один из новейших метеорологических модулей WXT520

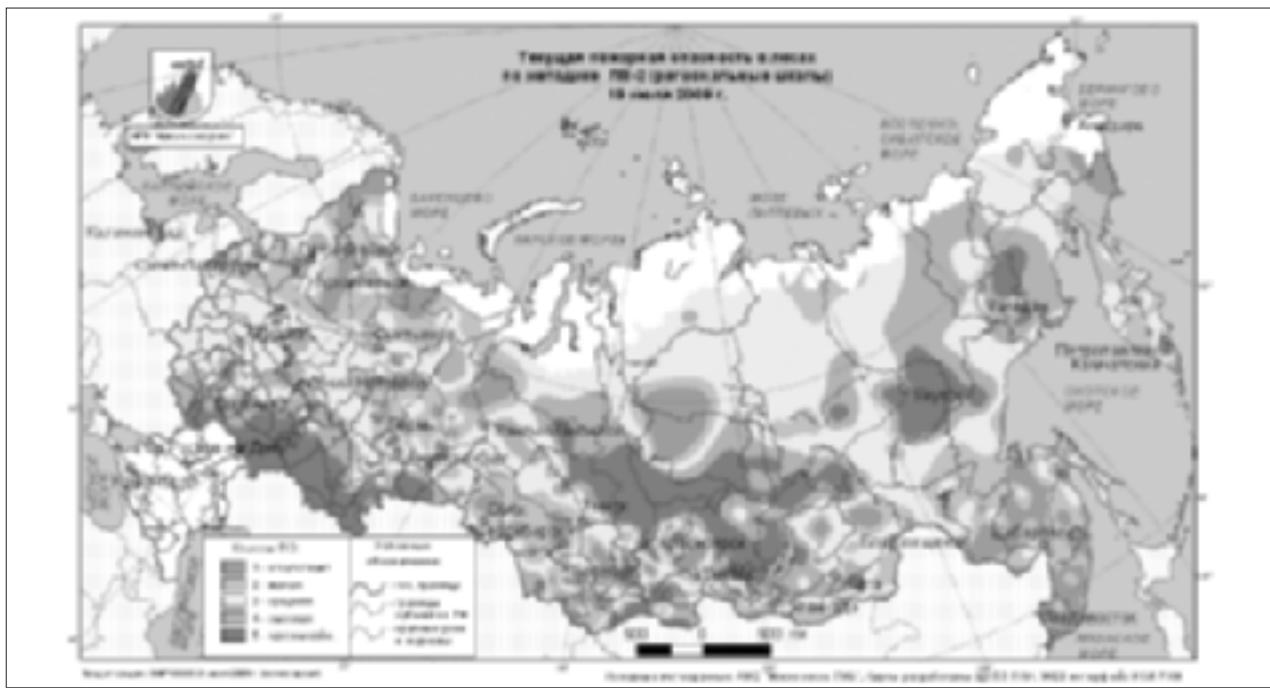


Рис. 4. Пример карты текущей пожарной опасности в лесах

Для решения этой проблемы возможны два пути:

1. Использование миниатюрных метеодатчиков с функцией автоматической пересылки информации, полученной вблизи пожара.

Современное развитие средств связи, а также развитие нанотехнологий позволит в ближайшие годы создать дешевые малогабаритные, возможно одноразовые, датчики, которые могут быть установлены (или разбросаны с помощью авиации) в районе крупного лесного пожара с целью обеспечить сбор необходимых метеоданных для прогноза развития ситуации.

Несмотря на то что это звучит как научная фантастика, следует отметить, что для военных нужд уже сейчас используются подобные технологии для быстрого создания сети обнаружения присутствия людей вблизи охраняемого участка или объекта.

2. Геопространственная интерполяция метеоданных на основе всех доступных метеоданных (с ближайших метеостанций, мобильных вблизи пожара, авиационных, спутниковых).

В заключение хотелось бы отметить, что в настоящий момент информация из Росгидрометцентра, как было сказано выше, поступает по каждой метеостанции несколько раз в день (по каждому стандартному сроку наблюдений). После загрузки в ИСДМ-Рослесхоз по каждой отдельной метео-

станции рассчитывается класс пожарной опасности. Для формирования отчетов по лесным пожарам приходится использовать значения класса пожарной опасности не в районе пожара, а по данным ближайшей метеостанции. Для получения части тематических продуктов, формируемых в ИСДМ-Рослесхоз (например, карты показателей пожарной опасности по условиям погоды — рис. 4), по упрощенной методике средствами ГИС строятся растровые карты, на которых значения указанных показателей равномерно распределяются по всей территории.

В настоящий момент в Росгидрометцентре на основе новейших теоретических разработок и с использованием современных суперкомпьютеров строятся пространственные карты распределения основных метеопоказателей.

В связи с этим предлагается перейти от получения данных по метеостанциям к получению в ИСДМ-Рослесхоз непосредственно геопривязанного растра, в котором каждый пиксель будет иметь, кроме географической координаты, также значение заданных метеоэлементов. Это существенно повысит качество и скорость формирования производных тематических продуктов и обеспечит существенный скачок в качестве информационного обеспечения пользователей ИСДМ-Рослесхоз.

Материал поступил в редакцию 23 октября 2009 г.

© Котельников Р. В., Коршунов Н. А., 2010 г.
(e-mail: KotelnikovRV@mail.ru, kotelnikov@aviales.ru).



А. Л. Душкин
канд. техн. наук, заместитель директора
Научно-исследовательского центра
новых технологий Московского авиационного института, г. Москва, Россия



А. В. Карпышев
канд. техн. наук, директор Научно-исследовательского центра новых технологий Московского авиационного института, г. Москва, Россия



М. Д. Сегаль
д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, г. Москва, Россия

УДК 614.842.615

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ТОНКОРАСПЫЛЕННЫХ ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Обсуждаются вопросы оптимизации параметров газокапельных потоков тонкораспыленной воды с точки зрения достижения максимальной эффективности пожаротушения при горении твердых веществ и легковоспламеняющихся жидкостей. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: пожаротушение, тонкораспыленная вода, размер капли, энергия, диссипация.

При тушении очагов пожаров тонкораспыленной водой осуществляется совместное действие трех механизмов подавления источника возгорания: 1) поглощения тепла из горючих газов, пламени и горящего материала; 2) замещения или оттеснения кислорода от взаимодействующих газов и нагретой поверхности; 3) поглощения излучения пламени, что препятствует распространению огня.

Смачивание и охлаждение горючих веществ легче достигаются каплями размером более 400 мкм, но для этого требуется большее количество воды. Однако при тушении легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) нельзя использовать такие крупные капли, так как при их взаимодействии с поверхностью горящей жидкости происходит разбрызгивание последней, что приводит к увеличению площади пожара. По этой причине ЛВЖ необходимо тушить каплями размером не более 200 мкм. Основные преимущества водяного тумана с размером капель менее 200 мкм состоят в увеличении скорости поглощения тепла из горючих газов и пламени, а также в более равномерном орошении поверхности горючего материала.

В условиях выделения горячих газов с температурой до 1000 К мелкие капли существуют в пространстве ограниченный промежуток времени. Так, капли воды диаметром 40–80 мкм превращаются в пар с температурой 700 К за 0,02–0,06 с, диаметром 180–200 мкм — за 0,20–0,26 с. При этом увеличивается проходимое каплями расстояние в зоне горя-

чих газов от 0,15 до 1 м при их начальной скорости 20 м/с. По указанной причине капли размером более 180 мкм имеют возможность преодолеть пламенную зону и достичь поверхности горючего материала. Положение усугубляется еще и тем, что при горении возникает мощный восходящий поток газов от очага, скорость которого достигает 8 м/с и более (для развитого пожара). Тогда возникает необходимость разгонять капельный поток, чтобы при подлете к горящей поверхности скорость капель превышала 8–10 м/с. Отсюда следует, что наиболее эффективно использовать тонкораспыленную воду для ликвидации пожара на начальной его стадии, когда зона горячих газов не превышает 0,5–1,0 м, а их температура составляет 700 К. Возможность тушения развитого пожара с температурой газов 800–1000 К, при котором практически весь объем заполнен газообразными продуктами горения, реализуется за счет заполнения помещения водяным паром, образующимся при испарении капель. При таком сценарии более оправданно использовать для тушения очень мелкие капли — размером не более 40 мкм, так как при этом увеличивается не только скорость испарения, но и суммарная площадь тепломассообмена при заданном количестве распыленной воды. Указанным способом осуществляется объемное тушение водяным паром, требующее в десятки раз больше времени по сравнению с охлаждением поверхности. Экранирование лучистых потоков от пламени, которое для твердых

и жидких горючих материалов составляет около 60 % всего тепловыделения при пожаре, производится с большей эффективностью каплями диаметром, сравнимым с длиной волны излучения пламени ($\lambda \approx 3\text{--}6 \text{ мкм}$), т. е. не превышающим 10 мкм.

Известно, что тепловыделение при горении твердых горючих материалов составляет 70–90 кВт/м². Тогда при полном использовании воды для охлаждения поверхности до температуры около 50–100 °C и поглощения выделяющегося тепла необходима интенсивность ее подачи 0,03–0,04 кг/м². Существующие традиционные водяные системы пожаротушения используют не более 30 % объема воды, а 70 % ее осаждается на пол и ограждающие поверхности. При скорости капель 40–100 м/с и их диаметре до 400 мкм достигается 80–90 %-ное использование воды, что позволяет резко сократить количество потребляемой воды и снизить вторичный ущерб от ее применения. Кроме поглощения твердых и газообразных продуктов горения (CO, CO₂, NO и т. д.), использование тонкораспыленной воды позволяет улучшить экологические условия в помещениях при наличии в них очагов возгорания.

Снижение интенсивности подавления очагов возгорания, другими словами уменьшение объема потребляемой для пожаротушения воды, может быть достигнуто за счет применения пенообразователей и различных добавок. Для тушения ЛВЖ в настоящее время разработан пенообразователь на основе фторорганических соединений типа AFFF, который создает на поверхности жидкости тонкую водяную пленку. Эта пленка толщиной в десятки микрон препятствует испарению ЛВЖ, что приводит к прекращению горения. Кроме того, данный тип пенообразователя является превосходным смачивателем тлеющих материалов, способствующим проникновению воды в их поры. Для тушения твердых горючих материалов с успехом используются солевые растворы, которые создают на горячей поверхности стекловидную пленку, препятствующую выходу горючих газов (H₂, H, OH, CO и др.) из материалов (дерево, ткань, бумага и т. п.) при их пиролизе, что способствует прекращению горения. Данные солевые добавки позволяют понизить температуру замерзания применяемых растворов до минус 40–50 °C и тем самым расширить температурные границы использования систем пожаротушения.

Установлен неочевидный для специалистов эффект высокого электрического сопротивления тонкораспыленных растворов солей, который проявляется при интенсивности их подачи на единицу площади менее 7 л/(м²·с), а для чистой воды — менее 10 л/(м²·с). Так, при напряжении переменного тока 36 кВ на расстоянии 1 м от среза струи до мишени сила тока не превышает 0,3–0,4 мА, что по

существующим в России, Европе и Америке нормам допустимо для человека.

Для создания тонкораспыленных потоков воды используются различные методы ее диспергирования. Процесс дробления жидкости представляется как явление развития неустойчивости течения жидкости со свободными границами в виде струй и плен. При этом данное явление разделяют на неустойчивость, связанную с воздействием твердой стенки, газа или жидкости на жидкостный поток перпендикулярно вектору его скорости или ускорения, и неустойчивость за счет касательных напряжений, действующих на поверхности жидкости, при наличии разности скоростей в жидкости и обтекающем ее газе или жидкости с другой плотностью. Первый механизм диспергирования характерен для форсунок ударного типа и механических диспергаторов с большой начальной скоростью истечения (около 100 м/с), например ротационного типа. Второй механизм превалирует в газожидкостных смесителях и соплах, а также в струйных форсунках при начальных скоростях истечения жидкости 20–60 м/с. В реальных диспергаторах оба механизма действуют одновременно.

Из-за сложности рассматриваемых явлений сам процесс разрушения до сих пор не имеет полного математического описания. Развитие неустойчивости течения приводит к деформации и разрушению струй, пленок и первичных капель. Очевидно, при дроблении реализуется баланс сил поверхности натяжения, вязкости и инерции. Для различных начальных скоростей жидкости относительно газа и физических параметров жидкости и газа (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) характер диспергирования существенно меняется.

Необходимо подчеркнуть, что при взаимодействии жидкостного потока с твердой стенкой или газом (жидкостью) за счет интенсивного вихреобразования в контактирующих средах большая часть механической энергии диссирируется, что приводит к значительному уменьшению скорости образовавшихся капелек относительно первоначальной скорости жидкости. Сокращение потерь энергии при диспергировании жидкости является одной из первоочередных задач, так как уменьшение скорости ведет, как показано выше, к падению эффективности тушения тонкораспыленной водой. Из баланса кинетической энергии жидкости и потенциальной энергии поверхности капель нетрудно получить значение минимально возможного радиуса капли

$$r = 6\delta / (\rho w^2),$$

где δ — коэффициент поверхностного натяжения;
 ρ — плотность жидкости;
 w — начальная скорость жидкости.

Вода как вещество с наибольшим коэффициентом поверхностного натяжения требует значительной кинетической энергии для создания тумано-подобного капельного потока. Представленный баланс в действительности не может быть реализован, так как в процессе образования сферической капли будет происходить деформация ее поверхности под влиянием сил как инерции, так и вязкости. Известно, что вязкостные напряжения являются первопричиной диссипации механической энергии во внутреннюю. Отклонение поверхности жидкости со свободными границами от равновесной сферической формы сопровождается колебаниями под действием капиллярных сил. Время существования деформированного состояния жидкого элемента сопоставимо с периодом собственных колебаний отрывающихся от объема жидкости капель. Развитие неустойчивости границы жидкости происходит за конечный промежуток времени. Например, для неустойчивости первого типа

$$t \sim 2r\rho_e/(\rho w),$$

где r — радиус капли;

ρ_e — плотность газа в пространстве истечения.

Если время развития неустойчивости меньше периода колебаний деформированного объема жидкости, то дробление возможно, в противном случае деформация под действием сил поверхностного натяжения и вязкости уменьшается. Оторвавшиеся фрагменты могут вновь раздробиться. Именно эти капли определяют спектр размеров диспергированной жидкости.

Отвлекаясь от начальных деформаций жидкости при выходе из насадка, можно определить влияние диссипации при дроблении названных сферических объемов жидкости на базе известных зависимостей. Так, для создания капель с $r = 100$ мкм без диссипации достаточно иметь $w = 2,1$ м/с, с учетом диссипации — $w = 2,4$ м/с, при этом потеря энергии на диссипацию не превышает 24 %. Для капель с $r = 5$ мкм без учета диссипативных потерь достаточно разогнать жидкость до $w = 9,2$ м/с, с учетом этих потерь — до $w = 24$ м/с, а потребная механическая энергия возрастает при этом в 7 раз, т. е. коэффициент полезного действия (отношение энергии, идущей на дробление, к полной энергии потока) не превышает 15 %. Полученные оценки не учитывают физических явлений на этапах первоначальной деформации и создания промежуточных структур в жидкости перед дроблением, что происходит с потерями механической энергии. Так как геометрические параметры капель или пелены в большей степени определяются размерами выходного насадка, то диаметры образованных капель оказываются пропорциональными диаметру выходного

насадка. Наиболее слабое влияние последнего на размер капель характерно для высоконапорного газожидкостного распыления.

Газожидкостные форсунки и сопловые системы с внутренним смешением и последующим разгоном газожидкостного потока позволяют получить очень тонкий распыл воды при больших относительно других способов потерях энергии, обусловленных в основном расширением газа-пропеллента. Так, для осаждения дымовых частиц в выхлопных системах мощных дизельных силовых корабельных установок был создан мелкодисперсный распылитель с эжекцией жидкости воздухом при давлении 0,4–0,5 МПа [1]. Диспергатор генерирует капли со среднеобъемным диаметром, равным 6,05 мкм, при затратах энергии газа, превышающих необходимую энергию для создания потока таких капелек более чем в 20 раз. Распределение капель по размерам, которое получено с использованием дифракционного оптического комплекса “Malvern Spraytec”, представлено на рис. 1.

Меньшие потери энергии газа (около 76 %) реализуются в ранцевой установке пожаротушения РУПТ-1-0,4-0,1 при создании высокоскоростного потока распыленной жидкости со среднеобъемным диаметром капель 106,5 мкм (распределение капель по размерам показано на рис. 2). Причем основные потери связаны не с дроблением капель, а с процессами смешения и течения двухфазного потока в трактах устройства. Несмотря на столь существенные потери, газожидкостное распыление позволяет достичь высоких скоростей капель (до 100 м/с) при давлении 0,8 МПа и создать наиболее простые и дешевые устройства для получения капель размером несколько микрон.

Известны ротационные механические форсунки, генерирующие столь мелкие капли. Но для вращения распыляющих дисков или конусов требуется использование высокооборотных механических приводов. Однако такие устройства затруднительно применять для нужд пожаротушения, а их потери

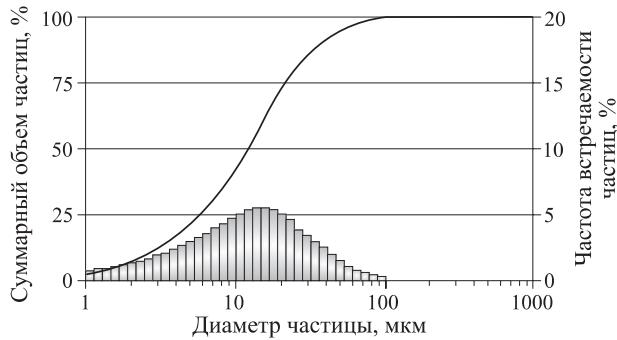


Рис. 1. Распределение капель по размерам, полученное с использованием дифракционного оптического комплекса “Malvern Spraytec”

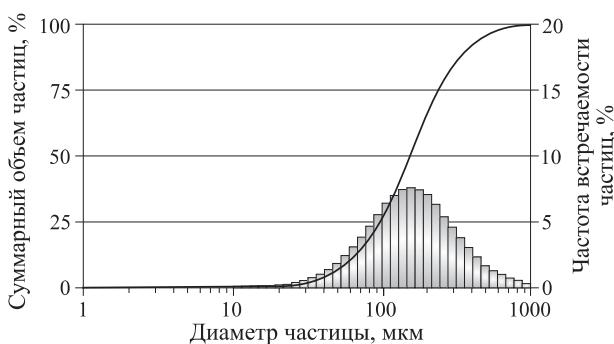


Рис. 2. Распределение капель по размерам для ранцевой установки

энергии сопоставимы с потерями при газожидкостном распылении.

В настоящее время за рубежом многие фирмы, например “Marioff”, используют первый механизм дробления при подаче жидкости в виде струй под давлением более 10 МПа в неподвижный воздух. Однако установлено, что при столь высоком давлении существенно сокращается дальность подачи воды по сравнению с расчетными значениями. В частности, при работе гидродинамических резаков при повышении давления с 1 до 10 МПа дальность полета струй уменьшается в 1,6–1,8 раза, т. е. средняя скорость снижается (а не увеличивается) пропорционально корню квадратному из отношения давлений, как это следует из уравнения Бернули, в $\sqrt{10/1} \approx 3,66$ раза. Происходит сказанное из-за диссипации энергии, которая увеличивается примерно в 10 раз. Кроме того, технические устройства с высоким давлением вызывают значительные трудности и накладывают ограничения на их практическое использование.

Дробление жидкости путем создания разрушающих возмущений ее поверхности или локальных объемов в большинстве случаев осуществляется при подводке к жидкости механической энергии перепада давления. По сравнению с газожидкостным дроблением в данном случае требуется меньшая энергия, так как исключается работа расширения газа. Наиболее перспективный способ механического дробления реализуется путем соударения струй жидкости. При этом в месте их встречи образуется пленка жидкости, которая под воздействием создавшихся на ней поперечных волн дробится на капли. При давлении 0,7–1,0 МПа разработанная по этому принципу форсунка генерирует капли со среднеобъемным диаметром 170–190 мкм. Потери энергии на создание капельного потока уменьшаются в 2,0–2,5 раза.

Более мелкие капли при механическом дроблении в случае перепада давления в жидкости до 1 МПа создаются центробежными и струйно-цент-

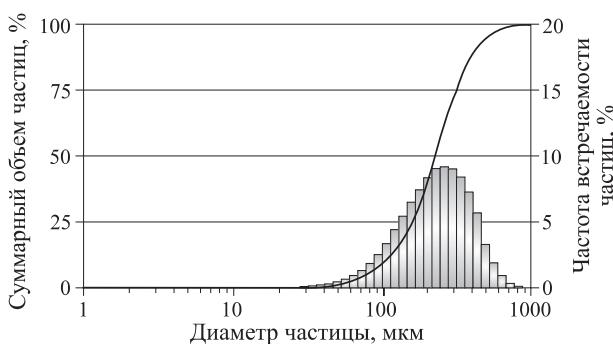


Рис. 3. Распределение капель по размерам для огнетушителя

робежными форсунками. Дробление в них осуществляется за счет закрутки подаваемой жидкости. В выходном канале жидкость движется в виде вращающейся пленки, а центр заполняется воздушным вихрем. При истечении закрученная жидкостная пленка распадается, образуя факел в виде полого конуса. Полученная структура капельного потока может быть использована в пожаротушении только для создания завесы или ограничения распространения возгорания. Из-за больших тангенциальных скоростей истекающей пленки потери энергии при создании капель больше, чем при соударении струй, а спектр размеров смешен в область мелких капель.

Потери энергии уменьшаются при заполнении центральной области дополнительным количеством жидкости, т. е. в струйно-центробежных распылителях. При этом поток капель характеризуется более равномерным распределением по сечению струи. Распылитель такого типа использован в высокоэффективном огнетушителе. Спектр размеров капельного потока упомянутого огнетушителя представлен на рис. 3.

Создание высокоскоростного потока капель можно с успехом осуществить использованием кавитационных явлений в жидкостном потоке при его течении в канале с пережатием. Распыляющие устройства кавитационного типа обладают наибольшей энергетической эффективностью при генерировании высокоскоростного потока капель, так как в них практически нет передачи энергии жидкости материалу механического диспергатора или газу-пропелленту, что наблюдается при известных традиционных способах распыления жидкости. При кавитации осуществляется высвобождение растворенного в воде газа (воздуха при 5 кПа), а затем и водяного пара (при 3 кПа) непосредственно в самой жидкости. В потоке капель появляется множество (10^6 – 10^9 м⁻³) пузырьков размером 10^{-5} – 10^{-9} м. Жидкость с такими парогазовыми включениями при попадании в атмосферу (около 100 кПа) характеризу-

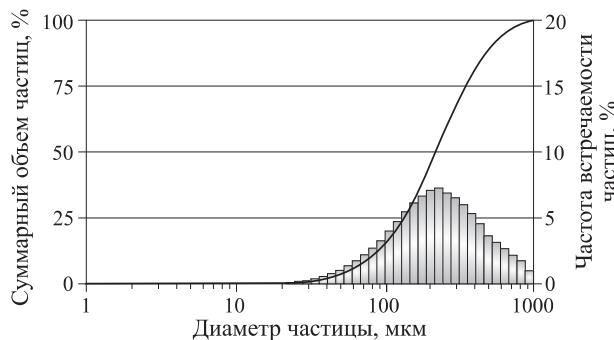


Рис. 4. Распределение капель по размерам для кавитационного сопла

ется наличием сжимаемости и микроволновыми процессами за счет схлопывания пузырьков. Последнее обстоятельство вызывает в конечном счете ее дробление. Кроме того, кавитация сопровождается интенсивным перемешиванием слоев жидкости, что приводит к выравниванию профиля скорости и более полному взаимодействию жидкости с газом в пространстве распыления.

Было обнаружено, что в зависимости от степени сужения и формы канала реализуются три структуры течения кавитирующей жидкости: 1) периодическое появление и унос потоком парогазовой фазы в виде каверны; 2) присоединенная каверна на границе с твердой стенкой; 3) струйный газожидкостный поток. Для получения мелкодисперсного высокоскоростного потока капель была использована последняя структура кавитационного течения [2, 3]. Такое сопло-распылитель обеспечивает газожидкостный поток со среднеобъемным размером капель 160–200 мкм при давлении на входе 0,8 МПа. Скорость распыленной струи на расстоянии 3,5 м от среза насадка составляет 35 м/с, а расчетная скорость сплошной жидкостной струи равна 40 м/с. Потери кинетической энергии не превышают 25 %. Распределение капель по размерам для рассматриваемого случая представлено на рис. 4.

Таким образом, до сих пор такое нежелательное явление в гидравлических высокоскоростных устройствах, как кавитация, нашло новое высокоэффективное применение при создании высокоскоростных генераторов капельного потока. Экспериментальные исследования и отработка генераторов тонкораспыленного потока проводились в два этапа. Все разработанные устройства испытывались на гидродинамическом стенде с определением расхода при давлениях 0,4–1,6 МПа, дисперсности капель и скорости струи на расстояниях 1,2 и 3,5 м от среза соплового насадка. Гидравлические характеристики определялись традиционным методом, спектр размеров — с помощью оптического дифракционного комплекса фирмы “Malvern”, скорость — с использованием оптического измерителя

лазерного типа. Второй этап включал огневые испытания по тушению стандартных очагов воспламенения классов А и В. Эти испытания позволили более полно и достоверно определить эффективность тушения, в то время как другие эксперименты (без горения материала) могли только частично осветить аспекты пожаротушения.

Результаты огневых испытаний по классу А представлены на рис. 5.

Приведенные на рис. 5 зависимости позволяют наиболее демонстративно зафиксировать основные параметры огнетушащего капельного потока, позволяющие достигнуть очень высокой эффективности пожаротушения. Как видно, скорость жидкостного потока сильно влияет на потребную интенсивность пожаротушения. При этом скорости выше 25 м/с достигаются использованием ранцевых установок и огнетушителей, которые применяются пожарными в ручном режиме. Автоматические системы пожаротушения дренчерного и спринклерного типов установлены под потолком и защищают весь объем помещения, но при этом скорость капель при тушении очагов на полу не достигает более 20 м/с при давлении перед оросителем 1,0–1,5 МПа. По указанной причине потребная интенсивность пожаротушения возрастает почти в два раза — с 0,012 до 0,021 л/(м²·с).

Добавки солей в воду эффективно снижают потребную интенсивность пожаротушения. При этом реализуются два эффекта тушения: 1) ингибирование пламенной диффузионной зоны мелкими испаряющимися в ней каплями среднеобъемным размером 60 мкм; 2) создание стеклообразной пленки на поверхности твердого материала.

Следует особо отметить, что полученные величины потребной интенсивности пожаротушения су-

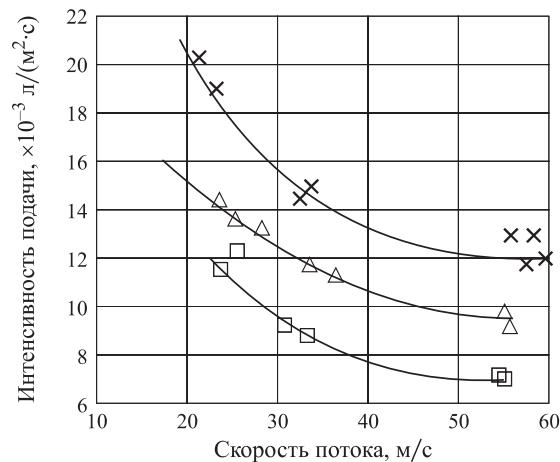


Рис. 5. Интенсивность подачи тонкораспыленной воды (x) и растворов солей (Δ — MgCl₂; □ — (NH₄)₂HPO₄) в зависимости от скорости потока жидкости (расстояние от распылителя — 3,5 м)

щественно меньше значений, определенных по результатам предшествующих исследований. Анализ работ по изучению процесса распределения тепла при пожаре показывает, что для приближенных расчетов интенсивности подачи воды при тушении пожара можно принять за удельный расход тепла, требуемый для развития пожара, величину $(0,5\text{--}0,2)Q_m$ (Q_m — теплота сгорания материала). Тогда количество тепла, отбираемого при пожаротушении тонкодисперсным водяным потоком, должно быть не меньше названного значения с учетом коэффициента использования воды. Для древесины в стандартных условиях тепловыделение составляет $0,26 \text{ МВт}/\text{м}^2$, а для тушения необходимо блокировать $15\text{--}20\%$ этого значения, т. е. $0,04\text{--}0,052 \text{ МВт}/\text{м}^2$. Простой расчет показывает, что для этого необходима интенсивность подачи $0,013\text{--}0,018 \text{ л}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ при коэффициенте использования, равном единице.

Из рис. 5 видно, что применение высокоскоростных потоков тонкораспыленной воды позволяет даже несколько понизить минимально возможное значение интенсивности, а также можно сделать однозначный вывод о равенстве степени использования воды при тушении единице.

Тушение горючих жидкостей может быть также с успехом осуществлено тонкораспыленной водой. Чистой водой с размером капель не более 200 мкм ликвидируется горение разливов ЛВЖ, а для тушения стандартных очагов необходима интенсивность не менее $0,2 \text{ л}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, что объясняется в основном на порядок большей удельной теплотой пожара (для гептана — $3,2 \text{ МВт}/\text{м}^2$). Использование низкократной пены ПО-6А3F (типа AFFF) позволяет уменьшить это значение до $0,05 \text{ л}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$.

В заключение можно сказать, что впервые в России разработан и доведен до наибольшей эффективности способ пожаротушения тонкораспыленной водой, создан ряд устройств для тушения различных материалов и установок под напряжением, а предложенные добавки в воду позволили значительно расширить область применения данного способа в различных климатических районах России.

Созданные генераторы высокоскоростного мелкодисперсного потока капель могут найти применение в смежных областях, а именно: для осаждения дыма, дезактивации, дегазации, дезинфекции, в аппаратах химической технологии, в энергетическом машиностроении, в топливных агрегатах и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пат. 2329873** Российская Федерация, МПК B05B 7/00 (2006.01), B05B 7/28 (2006.01). Распылитель жидкости / Душкин А. Л., Карпышев А. В., Рязанцев Н. Н.; заявители и патентообладатели : Душкин Андрей Леонидович, Карпышев Александр Владимирович, Рязанцев Николай Николаевич. — № 2006130489/12 ; заявл. 24.08.2006 ; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21.
- Пат. 2184619** Российская Федерация, МПК B05B 1/00. Распылитель жидкости (Варианты) / Душкин А. Л., Карпышев А. В.; заявители и патентообладатели : Душкин Андрей Леонидович, Карпышев Александр Владимирович. — № 2001107433/21 ; заявл. 22.03.2001 ; опубл. 10.07.2002, Бюл. № 19.
- Пат. 7059543** США, МПК A62C31/02 (2006.01). Liquid Sprayers / Andrey L. Dushkin, Alexander V. Karpyshov. — № 10/472,278 ; заявл. 21.03.2002 ; опубл. 13.01.2006.

Материал поступил в редакцию 23 октября 2009 г.
© Душкин А. Л., Карпышев А. В., Сегаль М. Д., 2010 г.
(e-mail: segal_rsi@mail.ru).



А. Г. Виноградов
канд. физ.-мат. наук, доцент,
начальник кафедры Академии пожарной
безопасности им. Героев Чернобыля
МЧС Украины, г. Черкассы, Украина

УДК 533.6.011.6:614.628

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КАПЕЛЬ ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ

Представлен метод теоретического расчета пространственного распределения концентрации капель водяной завесы. В основу метода положены полученные ранее уравнения траекторий сферических капель.

Ключевые слова: водяная завеса, концентрация капель, теоретический расчет.

Введение

Водяные завесы достаточно часто применяются в практике пожарно-спасательной службы благодаря их способности осуществлять эффективное экранирование как теплового излучения, так и конвективных тепловых потоков. Формирование водяных завес осуществляется посредством использования специальных насадок на пожарный ствол. При прохождении через такую насадку скоростной струи под высоким давлением происходит ее дробление на отдельные капли, в результате чего формируется водяная завеса.

В настоящее время разрабатывается детальная теоретическая модель, позволяющая выполнить анализ процессов теплового экранирования водяными завесами и их оптимизацию с точки зрения практических задач пожарно-спасательной службы. В первых научных публикациях по этому вопросу [1–3] были получены уравнения для расчета температуры воздуха, которая изменяется под воздействием конвективного теплообмена с распыленной водой в одно- и двумерном приближении. По средством этих уравнений можно выполнить расчеты температурного поля внутри водяной завесы и определить ее способность осуществлять экранирование конвективного теплового потока. В работах [4–6] рассмотрены процессы экранирования лучистого теплового потока. Полученные математические зависимости продемонстрировали существенную зависимость экранирующей способности водяной завесы от ряда технологических и термодинамических параметров: среднего диаметра капель воды, скорости движения капель, их концентрации, скорости движения воздушных масс, начальных температур воздуха и воды и др. Отдельные вопросы, касающиеся процессов формирования водяной

завесы, рассмотрены в работах [7, 8]. В частности, в них определены математические уравнения для расчета текущих координат, скоростей и других параметров траекторий капель водяной завесы. Полученные формулы использованы для компьютерного построения траекторий при разных начальных условиях. Однако остался нерешенным вопрос о расчете распределения концентраций капель в пределах водяной завесы. В то же время концентрация капель является одним из основных параметров, который определяет экранирующие свойства водяной завесы.

В статье поставлена задача решить проблемы, не решенные в предыдущих публикациях, а именно: 1) разработка методики теоретического расчета распределения концентрации капель в пределах водяной завесы; 2) применение данной методики для конкретных расчетов с помощью компьютерных программ.

Теоретический анализ

Рассмотрим водяную завесу, созданную в вертикальной плоскости с помощью щелевой насадки на пожарный ствол. Для упрощения будем считать, что насадка формирует равномерный начальный поток одинаковых сферических капель диаметром d с начальной скоростью v_0 , с углами раскрытия потока в вертикальной плоскости $\Delta\alpha_0$ и в горизонтальной плоскости β (рис. 1).

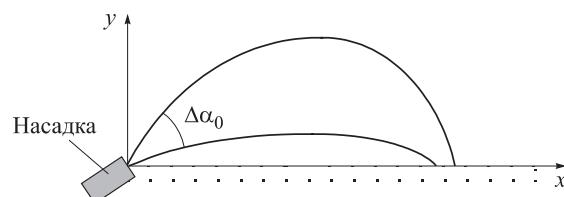


Рис. 1. Схема водяной завесы

Для расчета пространственного распределения концентраций капель используем компьютерный расчет их траекторий, методика которого представлена в работе [7]. В данной работе были получены такие соотношения для текущих координат x и y в зависимости от угла наклона вектора скорости капли к горизонтальной плоскости α (рис. 2):

$$x = -(1/g) \times \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha (A - B[\tan \alpha(2 + \sec \alpha) - \ln \cos \alpha])}; \quad (1)$$

$$y = -\frac{1}{g} \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{\tan \alpha d\alpha}{\cos^2 \alpha (A - B[\tan \alpha(2 + \sec \alpha) - \ln \cos \alpha])}, \quad (2)$$

где

$$A = \frac{1}{v_0^2 \cos^2 \alpha_0} + B[\tan \alpha_0(2 + \sec \alpha_0) - \ln \cos \alpha_0];$$

$$B = \frac{C\rho_1 S}{2mg} = \frac{3\rho_1}{8\rho_2 dg};$$

v_0 — начальная скорость капли;

α_0 — начальное значение угла α ;

C — аэродинамический коэффициент, для капли в форме шара $C = 0,5$;

ρ_1 — плотность воздуха;

S — площадь миделевого сечения капли, $S = \pi d^2/4$;

m — масса капли;

g — ускорение свободного падения;

ρ_2 — плотность воды.

Формулы (1) и (2) представляют траекторию капли в параметрической форме, где в качестве параметра выступает угол α . Они не дают возможности найти аналитическое решение в явном виде, но позволяют построить траектории посредством численного интегрирования с помощью компьютерных программ. На рис. 3 представлены построенные с помощью компьютерного пакета MathCAD траектории капель для условий, указанных на подписи к рисунку.

В работе [8] получена расчетная формула для модуля текущей скорости капли также в зависимости от угла α :

$$v = \frac{1}{\cos \alpha \sqrt{A - B [\tan \alpha(2 + \sec \alpha) - \ln \cos \alpha]}}. \quad (3)$$

Концентрация капель в каждой точке водяной завесы зависит от плотности траекторий капель на данном участке пространства, а также от их скорости. Из рис. 3 видно, что плотность траекторий изменяется вдоль водяной завесы. Будучи большой в начале водяной завесы (рядом с насадкой), она уменьшается к середине завесы, а затем вновь возрастает. Горизонтальная составляющая скорости капель, которая также существенно влияет на их

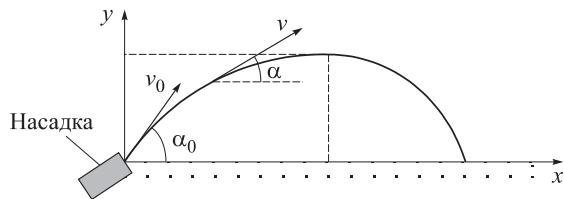


Рис. 2. Схема движения капли

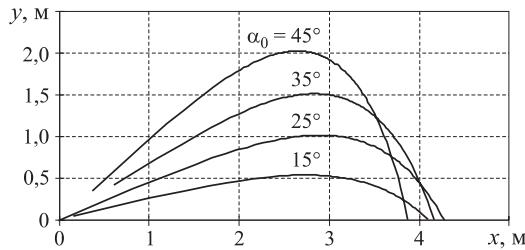


Рис. 3. Траектории капель при $d = 1$ мм, $v_0 = 30$ м/с и различных значениях начального угла α_0

концентрацию, монотонно уменьшается при возрастании координаты x . В данной работе поставлена задача выполнить расчет распределения концентраций капель для завесы, созданной насадкой, которая формирует равномерный начальный поток капель в некотором угловом секторе $\Delta\alpha_0$.

Будем считать, что капли вдоль всей траектории не изменяются по размеру, не происходит их распад, коагуляция или любое взаимодействие. В этом случае количество капель, пересекающих любое сечение водяной завесы за единицу времени, является одинаковым и равняется начальному количеству капель N , которое генерируется насадкой в единицу времени.

Для произвольного участка вертикального сечения водяной завесы шириной b (толщина завесы) и высотой dy количество капель, пересекающих его за единицу времени, составит:

$$dN = nv \cos \alpha \cdot b \cdot dy,$$

где n — концентрация капель в данной точке пространства. Отсюда:

$$n = \frac{1}{v \cos \alpha \cdot b} \frac{dN}{dy}. \quad (4)$$

Представим производную в этой формуле через начальный угол α_0 :

$$\frac{dN}{dy} = \frac{dN}{d\alpha_0} \left(\frac{dy}{d\alpha_0} \right)^{-1}. \quad (5)$$

В случае изотропного распределения плотности потока капель на начальном участке водяной завесы в пределах сектора $\Delta\alpha_0$ первую производную можно заменить средним значением:

$$dN/d\alpha_0 = N/\Delta\alpha_0. \quad (6)$$

Второй сомножитель в (5) определяется аналитически с помощью соотношения (2):

$$\begin{aligned} dy/d\alpha_0 &= \\ &= \frac{\tan \alpha_0}{g \cos^2 \alpha_0 (A - B[\tan \alpha_0(2 + \sec \alpha_0) - \ln \cos \alpha_0])} = \\ &= v_0^2 \tan \alpha_0 / g. \end{aligned} \quad (7)$$

Еще один сомножитель в (4) — обратная величина горизонтальной составляющей скорости капель определяется с помощью соотношения (3):

$$\frac{1}{v \cos \alpha} = \sqrt{A - B[\tan \alpha(2 + \sec \alpha) - \ln \cos \alpha]}. \quad (8)$$

Компьютерный расчет графических зависимостей данной величины от горизонтальной координаты для типичных параметров представлен на рис. 4.

Подставляя в (4) найденные выражения (6)–(8), получим расчетную формулу для концентрации капель в зависимости от параметров α_0 и α . Эти два параметра при заданных значениях диаметра и начальной скорости капли однозначно определяют точку пространства (координаты x и y) в вертикальной плоскости в пределах водяной завесы. Для данной точки пространства

$$n(\alpha_0, \alpha) = \frac{Ng \sqrt{A - B[\tan \alpha(2 + \sec \alpha) - \ln \cos \alpha]}}{b \Delta \alpha_0 v_0^2 \tan \alpha_0}. \quad (9)$$

Величина N в пределах данного приближения (все капли имеют одинаковые диаметр d и начальную скорость v_0) может быть приближенно рассчитана исходя из сохранения объемов воды, проходящей через сечения завесы и насадки:

$$N \frac{\pi d^3}{6} = v_0 ab_0,$$

где a и b_0 — соответственно длина (вертикальный размер) и ширина (горизонтальный размер) выходного отверстия щелевой насадки. Отсюда:

$$N = 6v_0 ab_0 / (\pi d^3). \quad (10)$$

Поскольку водяная завеса в горизонтальной плоскости имеет некоторый угол раствора β , ее тол-

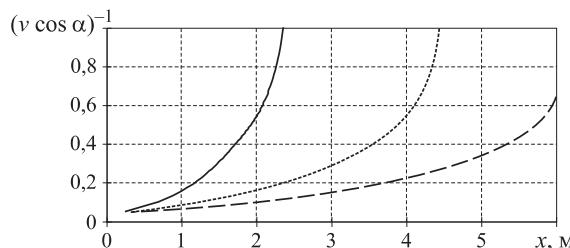


Рис. 4. Зависимости величины $(v \cos \alpha)^{-1}$ от координаты x при $\alpha_0 = 30^\circ$; $v_0 = 30 \text{ м/с}$ и значениях d : 0,5 мм (—), 1 мм (···), 1,5 мм (— —)

щина линейно зависит от горизонтальной координаты x :

$$b = b_0 + \beta x. \quad (11)$$

Будем считать распределение концентраций в любой горизонтальной плоскости в пределах данного сектора шириной β изотропным. Это приближение определяет осевую симметрию распределения концентрации капель и позволяет выполнять его расчет в зависимости только от двух координат — x и y .

С учетом (10) и (11) соотношение (9) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} n(\alpha_0, \alpha) &= \frac{6ab_0g}{\pi d^3(b_0 + \beta x)\Delta\alpha_0 v_0 \tan \alpha_0} \times \\ &\times \sqrt{A - B[\tan \alpha(2 + \sec \alpha) - \ln \cos \alpha]}, \end{aligned} \quad (12)$$

или после подстановки выражений для A и B :

$$\begin{aligned} n(\alpha_0, \alpha) &= \frac{6ab_0g}{\pi d^3(b_0 + \beta x)\Delta\alpha_0 v_0 \tan \alpha_0} \times \\ &\times \left(\frac{1}{v_0^2 \cos^2 \alpha_0} + \frac{3\rho_1}{8\rho_2 dg} \times \right. \\ &\times \left. [\tan \alpha_0(2 + \sec \alpha_0) - \tan \alpha(2 + \sec \alpha) + \right. \\ &\left. + \ln(\cos \alpha / \cos \alpha_0)]^{1/2} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Данное соотношение позволяет выполнить расчет локальной концентрации капель в некоторой точке пространства, которая отвечает заданным параметрам α_0 и α . Координаты данной точки определяются соотношениями (1) и (2). Таким образом, соотношения (1), (2) и (13) в параметрическом виде задают распределение концентрации капель в вертикальной плоскости.

Вполне очевидно, что концентрация капель при больших значениях координаты x очень существенно зависит от величины угла β . Ведь рост толщины завесы от начальной величины b_0 (1–2 мм) до значения 30–50 см в средней части завесы приводит к уменьшению концентрации на 2–3 порядка. Но для процессов теплового экранирования во многих случаях важным параметром является не только концентрация капель (количество капель на единицу объема), но и произведение концентрации на толщину завесы — плоскостная концентрация капель (количество капель на единицу площади):

$$n_s = nb = n(b_0 + \beta x). \quad (14)$$

Поэтому ниже приводятся численные расчеты обеих величин.

Численные расчеты

В качестве примера выполним расчет распределения концентрации капель n , а также плоскостной концентрации n_s для параметров: $a = 20 \text{ см}$, $b_0 = 2 \text{ мм}$,

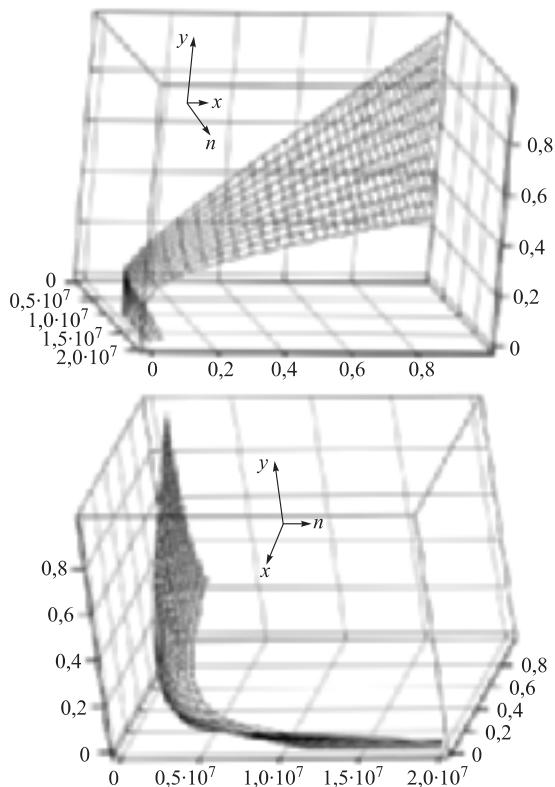


Рис. 5. График пространственного распределения концентрации капель в двух ракурсах (начальный участок водяной завесы)

$\beta = 5^\circ$, $d = 1$ мм, $v_0 = 30$ м/с, $\Delta\alpha_0 = 30^\circ$ ($\alpha_0 = 15 \div 45^\circ$).

Для выполнения расчетов с помощью пакета MathCAD была произведена дискретизация параметров α_0 и α и получены соответствующие матрицы значений величин x , y , n и n_s по формулам соответственно (1), (2), (13) и (14), а также построены трехмерные графики (рис. 5–7). Размерность всех величин дана в системе СИ.

На рис. 5 в двух разных ракурсах (в целях более наглядного восприятия) представлен график концентрации капель в зависимости от координат для начального участка водяной завесы (при малых значениях x и y).

На рис. 6 представлен такой же график для основного участка водяной завесы (при значениях x и y свыше 1 м). Необходимость в разделении графика на два участка возникла вследствие большой разницы в численных значениях концентрации на этих двух участках.

Анализ полученных результатов позволяет сделать заключение об их качественном соответствии ранее сделанным выводам о влиянии отдельных множителей в формуле (13) на поведение концентрации капель. Высокая концентрация на начальном участке завесы обуславливается малой толщиной завесы и высокой плотностью траекторий. Далее

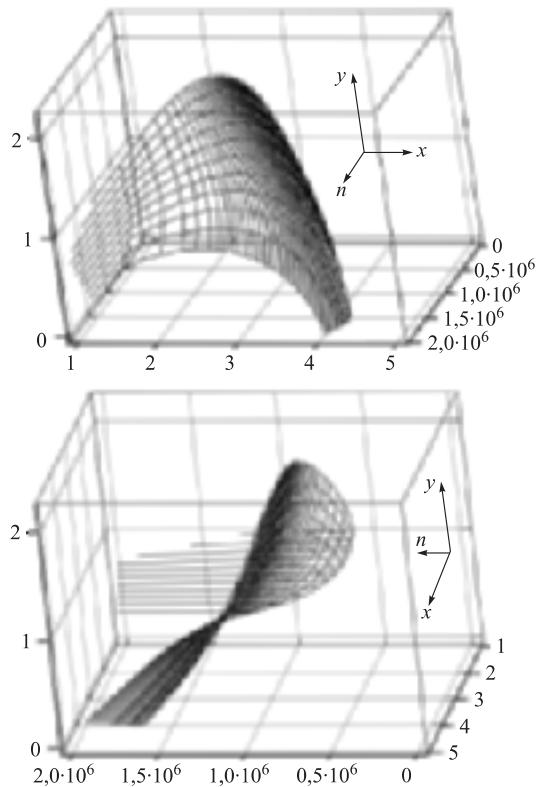


Рис. 6. График пространственного распределения концентрации капель в двух ракурсах (основной участок водяной завесы)

быстрый спад n при возрастании x обусловлен увеличением толщины завесы. Наконец, возрастание концентрации капель после прохождения через минимум связано с влиянием горизонтальной составляющей скорости капель (см. рис. 4).

На рис. 7 также в двух разных ракурсах представлен график плоскостной концентрации капель в зависимости от координат x и y .

Для плоскостной концентрации капель n_s , которая не зависит от поведения параметра b , наблюдается монотонный рост при увеличении расстояния от насадка (координата x). Очевидно, это связано с действием первого множителя в соотношении (4) — уменьшением горизонтальной составляющей скорости капель в результате их торможения воздушной средой (см. рис. 4). На эту общую тенденцию налагается влияние вертикальной плотности траекторий (второй множитель в соотношении (4)), которая приводит к достаточно сложной зависимости, представленной на графике рис. 7.

Заключение

Полученные математические соотношения для пространственного распределения концентрации капель водяной завесы позволяют выполнять численные расчеты и строить графические зависимо-

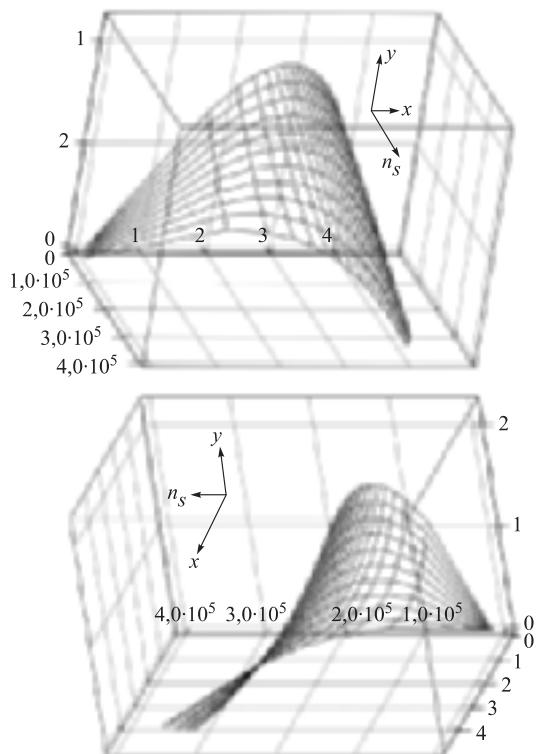


Рис. 7. График пространственного распределения плоскостной концентрации капель водяной завесы в двух курсах

сти для различных условий формирования завесы. Очевидно, данная задача может быть решена методом компьютерного моделирования без аналитиче-

ских расчетов. Однако преимуществом представленного здесь метода является то, что найденные аналитические соотношения позволяют, кроме выполнения численных расчетов, по форме математических выражений анализировать влияние на свойства водяной завесы большого количества разнообразных параметров.

Соотношения (1) и (2) для координат совместно с соотношением (13) для локальной концентрации капель в параметрическом виде (параметрами являются величины α_0 и α) представляют распределение концентраций капель водяной завесы в вертикальной плоскости. Существенным ограничением при выполнении расчетов является предположение о равенстве начальной скорости и диаметра всех капель. Для выполнения расчетов, более близких к реальной картине, необходимо ввести соответствующие распределения данных параметров в начальные условия. Перспективным методом продолжения исследований в данном направлении является сравнение результатов численных расчетов с аналогичными результатами, полученными с помощью одного из программных комплексов CFD (вычислительной гидродинамики). К сожалению, прямое экспериментальное исследование пространственного распределения концентрации капель водяной завесы — весьма сложная и дорогостоящая задача, поэтому реально можно осуществить лишь оценочные измерения на основе косвенных данных (распределение света и т. п.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов, А. Г.** Екранування конвективного теплообміну за допомогою водяної завіси / А. Г. Виноградов, Ю. Ю. Дендренко // Пожежна безпека—2001 : збірник наукових праць. — Львів, 2001. — С. 289–291.
2. **Виноградов, А. Г.** Математичне моделювання процесів теплообміну всередині водяної завіси / А. Г. Виноградов // Пожарная безопасность—2003 : матер. VI науч.-практ. конф. — Харьков : АПБУ, 2003. — С. 189–191.
3. **Виноградов, А. Г.** Екранування конвективних теплових потоків водяними завісами / А. Г. Виноградов // Вісник Сумського державного університету. Серія „Технічні науки (машинобудування)”. — 2003. — Т. 58, № 12. — С. 19–23.
4. **Виноградов, А. Г.** Екранування теплового випромінювання водяними завісами / А. Г. Виноградов // Промислова гіdraulіка і пневматика. — 2005. — Т. 9, № 3. — С. 52–54.
5. **Виноградов, А. Г.** Розсіяння теплового випромінювання сферичними краплями води / А. Г. Виноградов // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Сер. “Машиностроение”. — 2005. — № 47. — С. 51–54.
6. **Виноградов, А. Г.** Теплообмін всередині водяних завіс при екрануванні променістих теплових потоків / А. Г. Виноградов // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Сер. “Машиностроение”. — 2006. — № 49. — С. 47–49.
7. **Виноградов, А. Г.** Розрахунки траекторій параметрів крапель водяної завіси у вертикальній площині / А. Г. Виноградов // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Сер. “Машиностроение”. — 2008. — № 53. — С. 84–88.
8. **Виноградов, А. Г.** Розрахунок векторного поля швидкостей крапель водяної завіси / А. Г. Виноградов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2008. — Т. 49, № 2. — Ч. 2. — С. 42–44.

Материал поступил в редакцию 17 ноября 2009 г.

© Виноградов А. Г., 2010 г.
(e-mail: vin_ag@mail.ru).



А. В. Павленко
заместитель начальника Управления противопожарной
безопасности и новой техники, начальник отдела
ООО "Газпром газобезопасность", г. Москва, Россия

УДК 614.844

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ НА ОБЪЕКТАХ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРЕНЧЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ФТОРСИНТЕТИЧЕСКИХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Наиболее значительным фактором риска на объектах единой системы газоснабжения России является пожаро-взрывоопасность. Исходя из этого отраслевая организация в области пожарной безопасности ООО «Газпром газобезопасность», предъявляя самые высокие требования к системам защиты от пожаров и взрывов предприятий ОАО «Газпром», предложила новый подход к обеспечению пожарной безопасности установок комплексной подготовки газа (УКПГ). Впервые найдено техническое решение, позволяющее эффективно решать задачи защиты объектов УКПГ путем многократного сокращения времени подачи огнетушащего вещества, обеспечивая при этом одновременно тушение, защиту, охлаждение, а также предотвращение повторного загорания.

Ключевые слова: установка комплексной подготовки газа, морская ледостойкая стационарная платформа.

Наряду с очевидными преимуществами использования горючих газов и жидкых углеводородов, процессы их добычи и подготовки связаны с высокой опасностью пожаров и взрывов.

Анализ пожаров на объектах комплексной подготовки газа показывает, что они носят быстротечный, лавинообразный характер. Поэтому к автоматическим установкам пожаротушения, применение которых для защиты объектов комплексной подготовки газа обязательно по федеральным и ведомственным нормам, предъявляются жесткие требования по обнаружению и тушению пожара на самой ранней стадии его возникновения.

Системы автоматического пожаротушения должны быть надежными, простыми в обслуживании, быстродействующими, унифицированными на всех однотипных объектах отрасли, оптимальными по цене, обладать предельно малой инерционностью, обеспечивать реализацию эффективных технологий пожаротушения и предотвращение повторного загорания, не нанося при этом ущерба технологическому оборудованию.

Все это обусловило необходимость принятия новых нестандартных решений для обеспечения надежной противопожарной защиты объектов подготовки газа — внедрения на установках комплексной подготовки газа (УКПГ) высокоэффективных, быстродействующих систем пожаротушения.

На протяжении нескольких десятков лет для защиты технологических цехов УКПГ проектировалась система пожаротушения пеной средней кратности.

Данная система, будучи самой инерционной из всех систем пожаротушения (нормативное время срабатывания системы 3 мин), была еще и весьма ненадежной. При высокой скорости развития пожара она выходила из строя, не успев сработать, или срабатывала с большим опозданием. К тому же, как показал опыт работы, и пена получалась некачественная.

Кроме того, для этой системы необходимо строить здание станции пенотушения, устанавливать в нем емкости с пенообразователем (до 20 т), мощные насосы, прокладывать по территории УКПГ пеноводы до защищаемых помещений.

Пенообразователь необходимо было регулярно, раз в 6 месяцев, проверять на годность, а через 2 года полностью менять.

В конечном счете, эффект от применения системы не оправдывал затрат на ее монтаж и обслуживание.

ООО «Газпром газобезопасность», являясь отраслевой организацией, отвечающей за пожарную безопасность объектов ОАО «Газпром», вышло с инициативой спроектировать системы пожаротушения технологических цехов УКПГ на основе

автоматической дренчерной системы с использованием раствора фторсодержащего пленкообразующего пенообразователя.

Данная система полностью соответствует требованиям нормативных документов, надежна, ее быстродействие во много раз превышает систему тушения пеной средней кратности.

Система согласована с ФГУ ВНИИПО МЧС России. Внедрение этой системы не требует замены автоматики. Ее применение не влечет за собой строительства станции пенотушения (в связи с тем, что данного пенообразователя требуется на порядок меньше): емкости с пленкообразующим пенообразователем легко размещаются в помещении узла управления. Работа системы обеспечивает одновременное тушение пожара по всей площади защищаемого помещения, охлаждение горящего и защиты соседнего оборудования.

Стоимость предложенной системы в 21 раз ниже стоимости системы пенотушения. С учетом необходимости полной замены в старой системе пожаротушения пенообразователя разница в цене становится еще более очевидной, так как гарантированный срок хранения пленкообразующего пенообразователя не менее 15 лет.

В соответствии с Решением председателя Правления ОАО “Газпром” А. Б. Миллера (резолюция № 01-740 от 05 апреля 2004 года) в качестве системы автоматической противопожарной защиты производственных цехов УКПГ на предприятиях ОАО “Газпром” принята автоматическая дренчерная система пожаротушения с добавлением в воду специального фторсинтетического пленкообразующего пенообразователя.

Практическое достижение работы состоит в том, что впервые найдено техническое решение, позволяющее эффективно решать задачи защиты объектов УКПГ путем многократного сокращения времени подачи огнетушащего вещества, обеспечивая при этом одновременно тушение, защиту, охлаждение, а также предотвращение повторного загорания.

Применение вышеназванной системы позволяет обеспечить подачу огнетушащего вещества в 20 раз быстрее по сравнению с традиционными установками пожаротушения, находящимися в эксплуатации на объектах ОАО “Газпром”.

Поставленная задача выполнена на основе оборудования ЗАО “Пайрокул-М”, включающего в свой состав блендер-танк с 3 м³ специального пенообразователя, устанавливаемый в помещении узлов управления, быстродействующее запорно-пусковое устройство, магистральные и распределительные трубопроводы, дренчерные оросители для по-

жаротушения. Срабатывание установки осуществляется по команде средств пожарообнаружения.

Этапу внедрения установок на объектах подготовки газа Департаментом строительства ОАО “Газпром” предшествовала разработка специалистами МЧС России рекомендаций, позволяющих выполнить системы в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации и с учетом технических и объемно-планировочных особенностей защищаемых объектов.

Проект выполнен специалистами Управления проектирования технического нормирования ОАО “Газпром” и “Пайрокул-М”, методики испытаний и тестовых проверок разработаны специалистами ООО “Газпром газобезопасность” и МЧС России.

Технология пожаротушения использована для защиты от пожара, в том числе технологического модуля МЛСП “Приразломная”.

Результаты полномасштабных огневых испытаний указанных систем подтвердили их высокую эффективность и соответствие параметров установок нормативным требованиям в области пожарной безопасности. Комиссией были даны рекомендации о целесообразности внедрения систем для противопожарной защиты УКПГ на предприятиях ОАО “Газпром”.

При разработке системы противопожарной защиты объектов УКПГ были получены результаты, характеризующиеся существенными элементами научной новизны, а именно:

- выявлены механизмы возникновения и развития аварийных ситуаций, ведущих к пожарам и взрывам в технологических корпусах УКПГ;
- исследованы газодинамические процессы, возникающие при струйном горении газов, в том числе его теплового воздействия на окружающие объекты;
- проанализированы особенности функционирования автоматических систем пожаротушения и способов защиты от пожаров и взрывов установок комплексной подготовки газа;
- исследован эффект сокращения времени сброса давления в технологических аппаратах и влияние фторсодержащего пленкообразующего пенообразователя на характер распространения пламени и эскалации аварии в технологических цехах УКПГ;
- в качестве метода по предотвращению эскалации аварии предложена эффективная система пожаротушения;
- разработаны критерии, которым должны соответствовать системы противопожарной защиты;
- разработан и внедрен порядок создания и эксплуатации автоматических систем пожарной

сигнализации, контроля загазованности и пожаротушения на предприятиях ОАО “Газпром”.

После нескольких произошедших инцидентов руководители ряда предприятий ОАО “Газпром” потребовали обязательной замены систем пожаротушения на дренчерные с пленкообразующим пенообразователем.

Разработанная технология пожаротушения прошла апробацию и успешно применяется в масштабах ОАО “Газпром”, внедряется в компаниях “Сибур”, “Газпромнефть”, “Сахалин Энерджи”, на МЛСП “Приразломная”.

Результаты исследований и практические выводы легли в основу “Концепции обеспечения пожарной безопасности объектов ОАО “Газпром” и позволили применить для защиты технологических цехов и установок комплексной подготовки газа автоматические системы пожаротушения, которые в сравнении с традиционно используемыми системами в десятки раз более эффективны, а затраты на их монтаж и эксплуатацию в десятки раз ниже.

Экономическую эффективность можно рассматривать в двух основных аспектах:

1) сохранение технологического оборудования в производственных корпусах УКПГ благодаря применению новой системы автоматической противопожарной защиты;

2) получение дополнительного дохода в результате отказа от необходимости строительства станции пенотушения, монтажа оборудования и пенопроводов в производственных корпусах, закупки больших партий пенообразователя.

По состоянию на январь 2009 года указанными системами оборудовано 16 установок комплексной подготовки газа.

На ближайшие пять лет ориентировочная потребность ОАО “Газпром” в подобных системах составляет более 25 единиц.

Таким образом, новый подход к обеспечению пожарной безопасности УКПГ является достижением не только для ОАО “Газпром”, но и для всего Российского топливно-энергетического комплекса.

Материал поступил в редакцию 9 октября 2009 г.

© Павленко А. В., 2010 г.

(e-mail: a.pavlenko@gazbez.gazprom.ru).



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Представляет новую книгу

«ПОЖНАУКА»

Корольченко А. Я., Загорский Д. О.

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2009. — 118 с.



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

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

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

**С. Г. Котов**

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

**А. П. Круль**

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

**Д. С. Котов**

магистр физ.-мат. наук, инженер УП "Геоинформационные системы" Национальной академии наук Беларусь, г. Минск, Беларусь

УДК 614.842.612

СОЗДАНИЕ БЕЛОРУССКИХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СМАЧИВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Рассмотрены теоретические аспекты получения водных растворов поверхностно-активных веществ из твердотельных составов. Приведены результаты исследования водных растворов и твердотельных составов на основе полиэтиленгликолей и поверхностно-активных веществ. Определены составы для создания твердотельного источника смачивателя для тушения пожаров. Показано, что ряд синтезированных составов превосходит импортный аналог твердотельного смачивателя "Pyrocool TS".

Ключевые слова: смачиватель для тушения пожаров, поверхностно-активное вещество (ПАВ), полиэтиленгликоли (ПЭГ), твердотельный источник ПАВ, водные растворы ПАВ, поверхностное натяжение, показатель смачивания.

В Республике Беларусь при тушении пожаров трудносмачиваемых материалов (льнотресты, торфа) широко используются водные растворы смачивателей, которые получают растворением в воде, как правило, жидких поверхностно-активных веществ (ПАВ). В результате последних достижений в области химии огнетушащих веществ удалось значительно повысить огнетушащую эффективность воды путем введения в нее всего нескольких сотых долей процента ПАВ [1]. Это позволило перейти к созданию белорусских твердотельных смачивателей для тушения пожаров.

В настоящей работе излагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание белорусских твердотельных смачивателей. Первоначально рассмотрим теоретические вопросы получения водных растворов ПАВ из твердотельных смачивателей.

Пусть в центре бесконечной трубы диаметром D , по которой движется вода плотностью ρ_B со скоростью v , помещено твердое тело диаметром z , длиной l , характеризующееся плотностью ρ_m и растворимостью в единицу времени с единицы площади поверхности p (рис. 1). Как показано в [2], зависимость объема растворенного твердого тела W цилиндрической формы от времени подачи воды t описывается уравнением

$$W = p\pi lzt - p^2\pi lt^2. \quad (1)$$

Практический интерес представляет установление зависимости концентрации раствора ПАВ от времени растворения твердотельного смачивателя (картриджа).

Очевидно, что к моменту времени t_1 с начала подачи воды объем растворенного картриджа W_1 можно найти по формуле

$$W_1 = p\pi lzt_1 - p^2\pi lt_1^2, \quad (2)$$

а к моменту времени t_2 с начала подачи воды — W_2 по формуле

$$W_2 = p\pi lzt_2 - p^2\pi lt_2^2. \quad (3)$$

Учитывая, что

$$t_2 = t_1 + \Delta t, \quad (4)$$

формулу (3) можно записать в виде:

$$W_2 = p\pi lz(t_1 + \Delta t) - p^2\pi l(t_1 + \Delta t)^2. \quad (5)$$

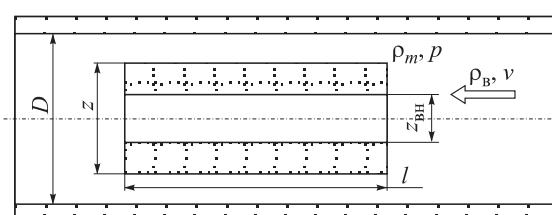


Рис. 1. Схема для вывода зависимости концентрации раствора от времени истечения воды для растворимого цилиндрического твердого тела, помещенного в трубу

Это позволяет найти объем растворенного картриджда ΔW_{21} за время Δt :

$$\Delta W_{21} = p\pi l z \Delta t - p^2 \pi l \Delta t^2 - 2p^2 \pi l t_1 \Delta t. \quad (6)$$

Первые два члена уравнения (6) для конкретного материала являются величинами постоянными, третий — зависит от времени. Чем больше время t_1 , тем больше третий член уравнения (6) и меньше величина ΔW_{21} . Следовательно, при использовании цилиндрических картриджей концентрация водного раствора будет уменьшаться с течением времени [2].

Выполненные нами расчеты для твердотельных смачивателей "Руго cool TS" показали, что объем картриджда, растворяющегося в течение первой секунды, в 2008 раз больше по сравнению с растворяющимся на последней секунде. Вследствие этого концентрация раствора, получаемого в течение первой секунды, в 2008 раз больше получаемого на последней [2].

В связи с этим сформулирована задача — теоретически обосновать форму и условия получения из твердотельных картриджей водных растворов ПАВ с постоянной концентрацией.

Установлено [3], что, если в центре бесконечной трубы диаметром D , по которой движется вода плотностью ρ_b со скоростью v , помещено твердое тело трубчатой формы с внешним диаметром z и коаксиальным цилиндрическим каналом диаметром z_{bh} и длиной l , характеризующееся плотностью ρ_m и растворимостью в единицу времени с единицы площади поверхности p (рис. 2), зависимость объема растворенного твердого тела трубчатой формы от времени подачи воды описывается уравнением

$$W = p\pi l(z + z_{bh})t. \quad (7)$$

Это, по аналогии с вышеизложенным, позволяет найти зависимость количества растворенного ПАВ от времени растворения картриджда:

$$\Delta W_{21} = p\pi l(z + z_{bh})\Delta t. \quad (8)$$

В уравнении (8) для материала картриджда трубчатого типа значения величин p , l , z и z_{bh} постоянные, следовательно, за равные промежутки времени Δt будет растворяться одинаковый объем картриджда и обеспечиваться постоянство концентрации ПАВ в растворе.

Изложенное выше является необходимым, но недостаточным условием обеспечения постоянства концентрации ПАВ в растворе при растворении твердотельного картриджда. В стволах белорусского производства схема, приведенная на рис. 2, на практике имеет следующую реализацию: твердотельный водорастворимый коаксиальный источник помещается в сетку цилиндрической формы, которая, в свою очередь, устанавливается в тубусе ствола. Схема течения жидкости для этого случая представлена на рис. 3.

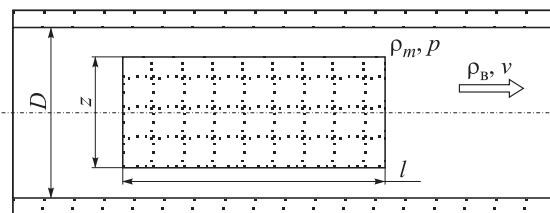


Рис. 2. Схема для вывода зависимости концентрации раствора от времени истечения воды для растворимого трубчатого твердого тела, помещенного в трубу

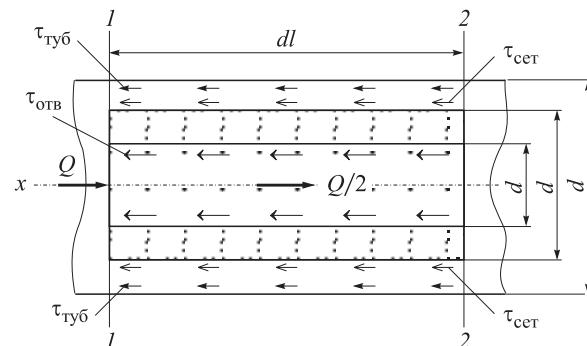


Рис. 3. Схема для вывода зависимости диаметра канала в твердофазном источнике смачивателя от величины шероховатости (коэффициента гидравлического трения) поверхностей

С помощью схемы рис. 3 получена математическая зависимость, позволяющая определить соотношение диаметров, обеспечивающих равномерное растворение и постоянство концентрации [3]:

$$d_0 = \left[\frac{\lambda_0 (d_2^2 - d_1^2)^3}{\lambda_{\text{туб}} d_2 + \lambda_{\text{сет}} d_1} \right]^{0,2}, \quad (9)$$

где λ_0 — коэффициент гидравлического трения цилиндрического канала, выполненного в твердофазном источнике;

$\lambda_{\text{туб}}$ — коэффициент гидравлического трения в кольцевом канале на стенке тубуса;

$\lambda_{\text{сет}}$ — коэффициент гидравлического трения в кольцевом канале на стенке сетки, в которую помещен коаксиальный источник.

Коэффициенты гидравлического трения могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$\lambda_0 = 0,11(\Delta_0/d_0)^{0,25}; \quad (10)$$

$$\lambda_{\text{туб}} = 0,11[\Delta_{\text{туб}}/(d_2 - d_1)]^{0,25}; \quad (11)$$

$$\lambda_{\text{сет}} = 0,11[\Delta_{\text{сет}}/(d_2 - d_1)]^{0,25}, \quad (12)$$

где Δ_0 — эквивалентная шероховатость канала внутри источника смачивателя;

$\Delta_{\text{туб}}$ — эквивалентная шероховатость стенки тубуса;

$\Delta_{\text{сет}}$ — эквивалентная шероховатость сетки.

Эти формулы позволяют провести расчет диаметра канала в твердотельном источнике смачивателя с достоверностью определения величины шероховатости (коэффициента гидравлического трения) рассматриваемых поверхностей.

Наряду с теоретическими вопросами получения водных растворов ПАВ из твердотельных смачивателей, решены практические вопросы создания белорусских твердотельных картриджей.

На момент начала исследования в Республике Беларусь нормативный документ, устанавливающий требования к твердотельным смачивателям для тушения пожаров, отсутствовал, в связи с чем возникла необходимость сформулировать основные требования к твердотельным источникам смачивателя. Исходя из литературных данных о твердотельных источниках ПАВ, а также результатов собственных исследований [2, 3], был сделан вывод о том, что твердофазный источник смачивателя для пожаротушения должен удовлетворять следующим требованиям:

во-первых, он должен иметь среднюю растворимость в единицу времени с единицы площади поверхности $p = 1,71 \cdot 10^{-4}$ м/с, что позволяет получать раствор ПАВ с концентрацией 0,03 % масс. [2];

во-вторых, добавка ПАВ в количестве 0,03 % масс. должна снижать поверхностное натяжение воды на 20–50 %;

в-третьих, смачивающая способность 0,03 %-ного водного раствора должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к смачивателям [4];

в-четвертых, твердотельный картридж должен сохраняться в твердом виде без изменения формы и размеров в температурном интервале от минус 5 до 45 °С.

В целях создания твердотельного источника смачивателя для пожаротушения, удовлетворяющего перечисленным требованиям, был осуществлен поиск соответствующих компонентов.

Как известно, подавляющее большинство ионогенных ПАВ, используемых в качестве смачивателей для тушения пожаров, представляют собой жидкости, реже пасты и твердые вещества [5]. Ионогенные ПАВ, существующие в твердом состоянии при комнатной температуре, не могут быть использованы в качестве материала картриджей твердотельного смачивателя для тушения пожаров, так как они не позволяют менять величину средней растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности. Кроме этого, картриджи, изготовленные из таких материалов, даже при комнатной температуре имеют неудовлетворительные механические свойства.

Для создания твердотельного смачивателя необходимо реализовать композицию из нескольких компонентов. Одним из компонентов должно быть ПАВ, снижающее поверхностное натяжение и

обеспечивающее необходимую смачивающую способность. Второй компонент должен обеспечивать возможность регулирования величины средней растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности и обеспечивать сохранение формы и размеров картриджа в температурном интервале от минус 5 до 45 °С.

Исходя из этого, вторым компонентом композиции твердотельного смачивателя должен быть водорастворимый полимер, причем обладающий свойствами ПАВ. К таким полимерам относятся полиэтиленгликоли (ПЭГ), являющиеся неионогенными ПАВ. Производимые промышленностью ПЭГ существенно отличаются по молекулярной массе, температуре плавления и скорости растворения в воде. Значения молекулярной массы и температуры плавления обычно приводятся в паспортных данных на полимер. Данные же по влиянию ПЭГ различной молекулярной массы на поверхностное натяжение воды и смачивающую способность водных растворов в литературе на момент начала исследования отсутствовали.

В связи с этим выбор компонентов для создания твердофазного источника раствора ПАВ был начат с исследования свойств ПЭГ.

Изучение зависимости поверхностного натяжения от молекулярной массы ПЭГ показало, что при концентрации 0,1 % масс. (что существенно больше концентрации ПАВ, которую должен обеспечить картридж) водные растворы ПЭГ различной молекулярной массы имеют близкие значения поверхностного натяжения (табл. 1). При этом полиэтиленгликоли снижают поверхностное натяжение воды несущественно, что позволило сделать вывод о необходимости включать в композицию наряду с ПЭГ другие ПАВ, в большей степени снижающие поверхностное натяжение.

Этот вывод подтверждается результатами изучения смачивающей способности 0,1 %-ных водных растворов ПЭГ. Время смачивания для всех растворов превышало 21 мин, что не удовлетворяло требованию к водному раствору смачивателя [4].

Для оценки пригодности ПЭГ как основы для создания твердофазного источника смачивателя были определены температурные характеристики плавления. Результаты этого определения для образцов ПЭГ с различной молекулярной массой представлены в табл. 2. Как видно из табл. 2, ПЭГ с молекулярной массой 4000 и выше могут применяться

Таблица 1. Поверхностное натяжение водных растворов 0,1 %-ного ПЭГ различной молекулярной массы

Молекулярная масса ПЭГ	4000	6000	15000	20000	40000
σ , мН/м	62,1	61,9	61,2	61,3	61,7

Таблица 2. Температурные характеристики образцов ПЭГ

Образец	Температура плавления, °C	
	начальная	конечная
ПЭГ-1500	47,5	49
ПЭГ-4000	60,5	62
ПЭГ-6000	61,5	64

в качестве основы твердотельного источника смачивателя.

Таким образом, результаты изучения свойств ПЭГ с различной молекулярной массой позволяют сделать следующие выводы:

во-первых, по температуре плавления ПЭГ с молекулярной массой 4000 и выше могут быть использованы в качестве основы для получения твердого источника смачивателя;

во-вторых, способность ПЭГ снижать поверхностное натяжение воды и увеличивать ее смачивающую способность недостаточна для создания твердотельных источников смачивателей.

В качестве компонентов, снижающих поверхностное натяжение и повышающих смачивающую способность раствора, получаемого из твердотельного картриджа для тушения пожаров, использовались следующие ПАВ: децилсульфат аммония, лаурилсульфат натрия, вторичный алкилсульфонат натрия, а также алкил(C_8-C_{10})сульфат аммония, промышленно выпускаемый Научно-методическим учреждением (НМУ) БГУ “Республиканский центр проблем человека”, и наряду с ними разработанный состав для тушения торфяных и лесных пожаров ОС-3Т.

Практический интерес представляло нахождение математических зависимостей поверхностного натяжения от концентрации ПАВ в растворе.

Известно [6], что между поверхностным натяжением и концентрацией ПАВ в растворе существует взаимосвязь, описываемая уравнением Шишковского:

$$\sigma' = \sigma_0 - a \ln(bc + 1), \quad (13)$$

где σ' — поверхностное натяжение раствора с концентрацией ПАВ, равной c ;

σ_0 — поверхностное натяжение воды;
 a и b — эмпирические коэффициенты.

Значения коэффициентов в уравнении Шишковского для перечисленных ПАВ, найденные по разработанной нами методике [7], представлены в табл. 3. В этой же таблице приведены значения стандартного отклонения экспериментальных значений относительно полученных уравнений.

Как видно из табл. 3, значения стандартного отклонения для исследованных ПАВ находятся в диапазоне от 0,1 до 3,6 мН/м, что сопоставимо или несущественно превышает стандартное отклонение прямых изменений поверхностного натяжения. Это позволяет утверждать, что для вторичного алкилсульфоната натрия, огнетушащего состава ОС-3Т, децилсульфата аммония, лаурилсульфата натрия и алкил(C_8-C_{10})сульфоната аммония зависимость поверхностного натяжения от концентрации в исследованном интервале концентраций (0...0,1 % масс.) может быть описана уравнением Шишковского со значениями эмпирических коэффициентов, приведенными в табл. 3.

Вместе с тем, как видно из рис. 4, для децилсульфата аммония, лаурилсульфата натрия и алкил(C_8-C_{10})сульфоната аммония зависимость поверхностного натяжения от концентрации ПАВ, описываемая уравнением Шишковского, фактически превращается в зависимость, описываемую линейным уравнением. Это связано с тем, что исследуемый интервал концентраций относительно небольшой и на нем не в полной мере проявляется логарифмическая зависимость поверхностного натяжения от концентрации.

В области исследованных концентраций по эффективности снижения поверхностного натяжения исследованные ПАВ можно расположить в ряд: вторичный алкилсульфонат натрия > алкил(C_8-C_{10})сульфонат аммония > лаурилсульфат натрия > децилсульфат аммония > ПЭГ-6000 > ОС-3Т. Это согласуется с литературными данными о повышении влияния поверхностно-активных добавок на поверхностное натяжение воды с увеличением длины углеводородного радикала и его разветвленности [8].

Таблица 3. Значения эмпирических коэффициентов в уравнении Шишковского для исследованных ПАВ

ПАВ	σ_0	a	b	Стандартное отклонение, мН/м	$1/b$	$d\sigma/dc$
ПЭГ-4000	72,4	2,1	1355,6	1,5	0,00074	-2,1/c
Алкилсульфонат натрия	72,4	33,4	25,80	3,6	0,039	-33,4/c
ОС-3Т	72,4	0,17	13524883	0,1	$7,4 \cdot 10^{-8}$	-0,17/c
Децилсульфат аммония	72,4	26,4	5,70	1,0	0,17	-150,5
Лаурилсульфат натрия	72,4	225,5	1,33	0,5	0,75	-299,9
Алкилсульфонат аммония	72,4	3233	0,11	3,2	8,90	-335,6

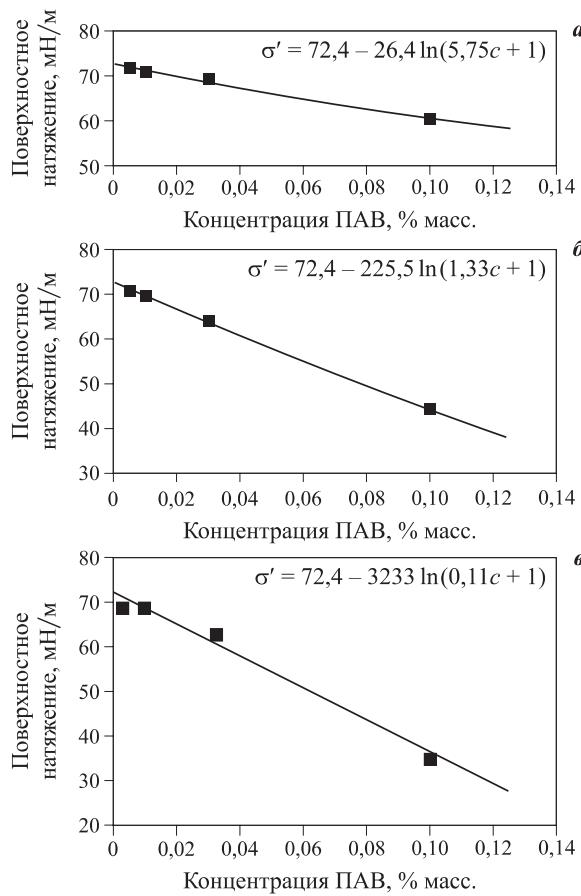


Рис. 4. Зависимость поверхностного натяжения водных растворов от концентрации децилсульфата аммония (а), лаурилсульфата натрия (б) и алкил(C_8-C_{10})сульфоната аммония (в): — — результаты обработки экспериментальных данных; ■ — экспериментальные значения поверхностного натяжения

и подтверждается показателями смачивающей способности водных растворов ПАВ (табл. 4).

По показателю смачивания гидрофобной ткани исследованные ПАВ можно расположить в ряд: вторичный алкилсульфонат натрия > алкилсульфонат аммония > лаурилсульфат натрия.

Сопоставление результатов оценки поверхностного натяжения и смачиваемости позволило сделать вывод о том, что существует корреляционная зависимость между значениями показателя смачивающей способности и поверхностного натяжения: улучшение смачивания наблюдается при уменьшении поверхностного натяжения.

Основываясь на результатах проведенных исследований, стремились к получению композиций с минимальным содержанием ПЭГ, но достаточным для обеспечения функции связующего и сохранности образца в твердом виде без изменения формы и размеров в достаточно широком температурном интервале.

Составы в системах ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) готовились путем смешения различных количеств ПАВ

Таблица 4. Показатели смачивающей способности водных растворов ПАВ

Поверхностно-активное вещество	Время появления первой капли раствора, с, при концентрации, % масс.		
	0,033	0,1	0,3
Вторичный алкилсульфонат натрия	525	6	2
Алкилсульфонат аммония	Более 600	373	12
Лаурилсульфат натрия	Более 600	Более 600	12

Таблица 5. Минимальные количества ПЭГ и максимальные количества ПАВ и ОС-3Т, обеспечивающие получение качественных твердотельных образцов

Компонент	Содержание компонента, % масс., в образце				
	1	2	3	4	5
ПЭГ	69–71	61–64	49–51	56–59	66–69
Алкил(C_8-C_{10})сульфонат аммония	29–31	0	0	0	0
Вторичный алкилсульфонат натрия	0	36–39	0	0	0
Лаурилсульфат натрия	0	0	49–51	0	0
Огнетушащий состав ОС-3Т	0	0	0	41–44	0
Децилсульфат аммония	0	0	0	0	31–34

(вторичный алкилсульфонат натрия, алкилсульфонат аммония, децилсульфат аммония и лаурилсульфат натрия) или огнетушащего состава ОС-3Т и ПЭГ. Для приготовления композиции смесь ПЭГ с добавкой ПАВ или ОС-3Т помещали в фарфоровый тигель, нагревали в термошкафу при температуре 100 °C в течение 10 мин. При этом полимер переходил в жидкое состояние. Полученный расплав выливался в трубку из полипропилена с внутренним диаметром 12 мм и после застывания выдавливался специальным поршнем. В результате получались изделия в виде цилиндров диаметром 12 мм. Качество полученных образцов оценивали визуально: хорошими считались сплошные образцы, твердые на ощупь, не размягчающиеся в руках при комнатной температуре.

Таким образом, экспериментально были определены минимальные количества ПЭГ и максимальные количества ПАВ и ОС-3Т, обеспечивающие получение качественных твердотельных образцов (табл. 5). Свойства полученных образцов в сравнении с импортным твердотельным смачивателем “Ругосоул TS” приведены в табл. 6.

Как видно из табл. 6, образцы систем ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) характеризуются такой же раствори-

Таблица 6. Свойства полученных твердотельных образцов систем ПЭГ–ПАВ(ОС-3Т) в сравнении с импортным твердотельным смачивателем “Ругос cool TS”

Показатель	Образец					
	1	2	3	4	5	Ругос cool TS
Внешний вид	Твердое вещество кремового цвета	Твердое вещество белого цвета	Воскообразное вещество белого цвета с зеленоватым оттенком		Твердое вещество кремового цвета	
Плотность, г/см ³	1,20	1,17	1,11	1,39	1,16	1,21
Показатель концентрации ионов водорода (рН) 5 %-ного водного раствора	5–6	6–7	6–7	7	6–7	6–7
Растворимость 5 г образца в 100 г воды при 17 °C, %	100	100	100	100	100	100
Поверхностное натяжение, мН/м, раствора концентрации:						
0,03 %	63,6	59,4	61,1	66,1	64,4	64,4
0,10 %	59,6	47,4	51,6	65,7	62,0	58,4

мостью и показателем концентрации ионов водорода получаемого раствора, что и импортный твердотельный смачиватель “Ругос cool TS”. Образцы ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия и ПЭГ – лаурилсульфат натрия в большей степени снижают поверхностное натяжение воды, чем импортный аналог. Образцы на основе системы ПЭГ – децилсульфат аммония и ПЭГ – алкилсульфонат аммония снижают поверхностное натяжение практически так же, как и твердотельный смачиватель “Ругос cool TS”. Образец ПЭГ – ОС-3Т снижает поверхностное натяжение несколько меньше, чем импортный аналог.

На рис. 5, а приведены экспериментальные зависимости поверхностного натяжения водного раствора от концентрации для образца системы ПЭГ – алкил(C_8 – C_{10})сульфонат аммония, на рис. 5, б – системы ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия, на рис. 5, в – системы ПЭГ – лаурилсульфат натрия и на рис. 5, г – состава импортного твердотельного смачивателя “Ругос cool TS”.

Обработав экспериментальные данные, исходя из представления, что зависимость поверхностного натяжения от концентрации описывается уравнением Шишковского [6], по методике, приведенной в [9], получили математические выражения зависимостей поверхностного натяжения от концентрации фторированного ПАВ при минимальном значении стандартного отклонения экспериментальных значений от теоретической зависимости, которые приведены на рис. 5. Здесь же представлены зависимости поверхностного натяжения от концентрации, рассчитанные по аддитивной схеме, на основе полученных зависимостей поверхностного натяжения от концентрации для ПЭГ и перечисленных ПАВ.

Результаты обработки полученных экспериментальных данных свидетельствуют о том, что в исследуемом интервале зависимость поверхностного

натяжения от концентрации состава систем ПЭГ – ПАВ и импортного твердотельного смачивателя “Ругос cool TS” описывается уравнением Шишковского. Установлено также, что зависимость поверхностного натяжения от концентрации композиции может быть рассчитана исходя из представлений об аддитивном вкладе ПЭГ и ПАВ в поверхностное натяжение при их совместном растворении из твердотельного состава систем ПЭГ – ПАВ.

Исследование показателя смачивающей способности твердофазных составов систем ПЭГ – алкил(C_8 – C_{10})сульфонат аммония, ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия, ПЭГ – лаурилсульфат натрия и состава импортного твердотельного смачивателя “Ругос cool TS” показало, что при концентрациях 0,0033 и 0,1 % масс. время появления первой капли раствора превышает 10 мин. Для сопоставления смачивающей способности указанных составов, так же как и водных растворов ПАВ, была выбрана концентрация 0,3 % масс.

Результаты исследования показателя смачивающей способности 0,3 %-ных водных растворов твердофазных составов приведены в табл. 7. Как видно из табл. 7, все синтезированные твердофазные составы систем ПЭГ – ПАВ превосходят импортный аналог “Ругос cool TS” по показателю смачивающей способности при их концентрации 0,3 % масс. Наименьшим временем смачивания (5 с) характеризуется состав системы ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия.

Сопоставление данных поверхностного натяжения и значений, характеризующих смачиваемость, позволило сделать вывод, что для исследованных твердофазных составов существует корреляционная зависимость между значениями показателя смачивающей способности и поверхностного натяжения, т. е. улучшение смачивания наблюдается при уменьшении поверхностного натяжения.

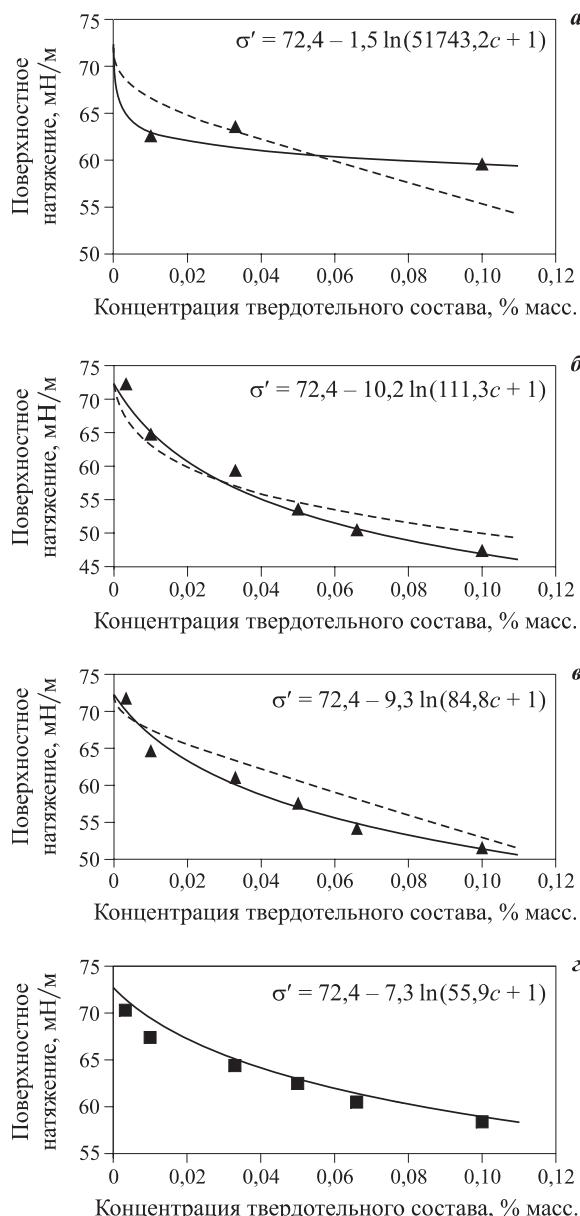


Рис. 5. Зависимость поверхностного натяжения водных растворов от концентрации для состава систем ПЭГ – алкил(C_8 – C_{10})сульфонат аммония (а), ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия (б), ПЭГ – лаурилсульфат натрия (в) и импортного твердотельного смачивателя “Rugocool TS” (г): — результаты обработки экспериментальных данных; — аддитивная зависимость; ▲ (■) — экспериментальные значения поверхностного натяжения

Для оценки сохранения образцами формы без изменения их выдерживали в термошкафу при температуре 45 °С в течение 2 ч. Образцы ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия, ПЭГ – лаурилсульфат натрия и ПЭГ – ОС-3Т остались твердыми и форму не меняли. У образцов ПЭГ – децилсульфат аммония и ПЭГ – алкилсульфонат аммония в связи с их размягчением форма начиная меняться.

Исследование растворимости образцов систем ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) в воде проводили в статическом и динамическом режимах.

Таблица 7. Показатели смачивающей способности 0,3 %-ных растворов, полученных с использованием твердофазных составов

Твердофазный состав	Время появления первой капли раствора, с
ПЭГ – алкил(C_8 – C_{10})сульфонат аммония	244
ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия	5
ПЭГ – лаурилсульфат натрия	45
Импортный твердотельный смачиватель “Rugocool TS”	846

Таблица 8. Растворимость в воде твердотельных образцов ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) в сравнении с импортным твердотельным смачивателем “Rugocool TS”

Номер образца	Время растворения образца, мин, в режиме	динамическом		
		статическом при 17 °C	4,3 л/мин, 17 °C	4,3 л/мин, 6 °C
2	210	13,0	25	31,5
3	205	15,5	42	64,0
4	120	7,0	15	16,5
5	150	14,0	20	30,5
Rugocool TS	180	14,5	25	30,5

В первом случае синтезированный образец в виде цилиндра диаметром 12 мм и высотой 40 мм (в зависимости от плотности массой ≈ 5 г) помещали в стеклянную плоскодонную коническую колбу объемом 100 мл с притертой стеклянной пробкой, приливали 100 мл дистиллированной воды и выдерживали до растворения образца.

Во втором случае синтезированный образец помещали в стеклянную трубку с внутренним диаметром 14 мм, подсоединенную через резиновый шланг к водопроводному крану. Нижний конец стеклянной трубки с синтезированным образцом закрывали слоем марли. Скорость течения воды через стеклянную трубку варьировали от 2,1 до 4,3 л/мин, температуру воды — от 6 до 17 °C.

Результаты проведенного исследования для образцов систем ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) в сравнении с импортным твердотельным смачивателем “Rugocool TS” представлены в табл. 8.

Как видно из табл. 8, в статическом режиме все исследованные образцы растворялись в течение 2,0–4,5 ч. Если время растворения в статическом режиме возрастает, то, как правило, то же происходит и в динамическом режиме. Это прослеживается для разных температур воды и скорости ее истечения. Вместе с тем есть и исключения. Корреляционная зависимость между временем растворения

Таблица 9. Растворимость в единицу времени с единицы площади поверхности полученных твердотельных образцов ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) и импортного твердотельного смачивателя “Руго cool TS”

Номер образца	Растворимость в единицу времени с единицы площади поверхности, м/с		
	4,3 л/мин, 17 °C	4,3 л/мин, 6 °C	2,1 л/мин, 6 °C
2	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
3	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$9,4 \cdot 10^{-5}$
4	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
5	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Руго cool NS	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

в динамическом и статическом режимах отсутствует, что, по-видимому, обусловлено разным характером растворения. Как известно, в стационарном режиме зависимость массы растворившегося продукта от времени имеет вид кривой с насыщением, в то время как при динамическом режиме насыщение, как правило, не наступает.

Основываясь на данных табл. 8, по формуле (1) рассчитана растворимость в единицу времени с единицы площади поверхности p . Расчеты выполнены для твердотельных составов диаметром 12 мм. Результаты расчета представлены в табл. 9.

Сопоставление результатов расчета растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности свидетельствует о том, что полученные значения p имеют одинаковый порядок.

Из табл. 9 также видно, что при одинаковом расходе (скорости движения) воды, но при разной температуре получаются различные значения растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности. Более высокой температуре соответствуют большие значения p . Это хорошо согласуется с известными данными об увеличении растворимости использованных ПАВ с ростом температуры. Вместе с тем корреляционная зависимость между значениями растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности для исследованных температур отсутствует. Это, по-видимому, связано с тем, что для исследованных составов количественная зависимость растворимости от температуры неодинакова.

Из данных, представленных в табл. 9, следует, что при одинаковой температуре, но при разном расходе (скорости движения) воды получаются разные значения растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности. С ростом расхода (скорости движения) воды значение p увеличивается. Это, по-видимому, обусловлено тем, что для конкретного материала скорость диффузии является величиной постоянной, а в исследуемом диапа-

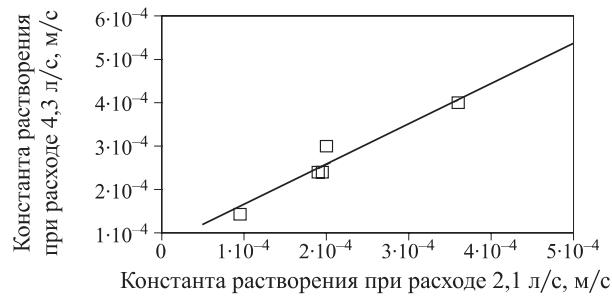


Рис. 6. Зависимость растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности при расходе 4,3 л/с для исследованных систем ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) от растворимости при расходе 2,1 л/с: — расчетная зависимость $p_{4,3} = 0,9327p_{2,1} + 7,03 \cdot 10^{-5}$; □ — экспериментальные значения

зоне расхода воды лимитирующей стадией является скорость удаления поверхностно-активных веществ из зоны взаимодействия воды и ПАВ.

На рис. 6 приведена зависимость растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности при расходе 4,3 л/с для исследованных систем ПЭГ – ПАВ(ОС-3Т) от растворимости при расходе 2,1 л/с. Как видно из рис. 6, эта зависимость носит линейный характер, описываемый уравнением

$$p_{4,3} = 0,9327p_{2,1} + 7,03 \cdot 10^{-5}, \quad (14)$$

где $p_{4,3}$ и $p_{2,1}$ — растворимость в единицу времени с единицы площади поверхности при расходе соответственно 4,3 и 2,1 л/с.

Следует отметить, что коэффициент пропорциональности в уравнении (14) близок к единице. Поэтому уравнение

$$p_{4,3} \approx p_{2,1} + 7,03 \cdot 10^{-5} \quad (15)$$

практически так же точно описывает зависимость растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности при расходе 4,3 л/с от растворимости при расходе 2,1 л/с, как и уравнение (14). Таким образом, растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности при расходах 4,3 и 2,1 л/с различаются на постоянную величину.

Это подтверждает сделанное ранее предположение, что с изменением расхода (скорости движения) воды коэффициент диффузии не изменяется, а скорость удаления ПАВ с поверхности твердотельного смачивателя возрастает. Поэтому растворимости в единицу времени с единицы площади поверхности при расходах 4,3 и 2,1 л/с отличаются на постоянную величину.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что составы систем ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия, ПЭГ – алкилсульфонат аммония, ПЭГ – лаурилсульфат натрия и ПЭГ – децилсульфат аммония и ПЭГ – огнетушащий состав ОС-3Т удовлетворяют требованиям к твердотельным источникам ПАВ. При этом со-

став системы ПЭГ – вторичный алкилсульфонат натрия превосходит составы систем ПЭГ – ПАВ, а также импортный аналог твердотельного смачивателя “Ругосоул ТС”.

На основе полученных результатов разработана промышленная технология получения смачивателей-картриджей для стволов пожарных ручных типа СПРК-50 на основе составов перечисленных систем. Совместно с НМУ БГУ “Республиканский центр проблем человека” создана экспериментальная установка, состоящая из трех модулей — управления, синтеза и экструзии и реализующая разработанную технологию. Разработан технологический регламент, который обеспечивает получение твердых смачивателей-картриджей на созданной экспериментальной установке и на основании которого получены опытные партии твердых смачивателей-картриджей, прошедших лабораторные и полигонные испытания, в том числе на огнетушащую эффективность с применением ручного комбинированного пожарного ствола, на соответствие требованиям технических условий ТУ ВУ 101114857.062–2007 “Смачиватели-картриджи для тушения пожаров “Эффект СК”.



Рис. 7. Смачиватель-картридж для тушения пожаров “Эффект СК” производства НМУ БГУ “Республиканский центр проблем человека”

Результаты испытаний показали, что образцы смачивателя-картриджа (рис. 7) для тушения пожаров “Эффект СК” из опытных партий по эксплуатационным характеристикам не уступают зарубежному аналогу — “Ругосоул ТС” производства компании “Ругосом”. Смачиватели-картриджи для тушения пожаров “Эффект СК” рекомендованы к постановке на производство и в настоящее время производятся по заказу Министерства по чрезвычайным ситуациям НМУ БГУ “Республиканский центр проблем человека”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Круль, Л. П.** Метод получения твердотельного источника ПАВ для пожаротушения / Л. П. Круль [и др.] // Научное обеспечение защиты от чрезвычайных ситуаций: основные результаты выполнения государственной научно-технической программы “Чрезвычайные ситуации” (2000–2004 гг.) : сб. науч. тр. — Минск : УП “Технопринт”, 2005. — С. 199–207.
2. **Котов, С. Г.** Теоретические основы получения водных растворов ПАВ из твердотельных источников смачивателей / С. Г. Котов, А. А. Гуз, Д. С. Котов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2007. — № 1(21). — С. 45–53.
3. **Котов, С. Г.** Гидродинамика потока при использовании твердотельного источника смачивателя с коаксиальным каналом / С. Г. Котов, И. В. Карпенчук, Д. С. Котов, Д. А. Леоник // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2007. — № 2(22). — С. 49–61.
4. **СТБ ГОСТ Р 50588–99.** Пенообразователи для тушения пожаров. Общетехнические требования и методы исследования: введен 1 июля 2000 г. — Минск : Госстандарт, 2000. — 24 с.
5. **Казаков, М. В.** Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров / М. В. Казаков. — М. : Стройиздат, 1977. — 81 с.
6. **Фридрихсберг, Д. А.** Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберг. — СПб. : Химия, 1995. — 400 с.
7. **Котов, С. Г.** Исследование поверхностного натяжения фторсодержащих поверхностно-активных веществ с целью создания пленкообразующего пенообразователя / С. Г. Котов, О. Д. Навроцкий, Д. С. Котов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2006. — № 1(19). — С. 69–81.
8. **Шарифуллин, Р. Р.** Некоторые физико-химические характеристики простых полиэфиров на основе окисей олефинов / Р. Р. Шарифуллин, Д. Х. Сафин // Химическая промышленность. — 2002. — № 11. — С. 34–38.
9. **Котов, С. Г.** Исследование поверхностного и межфазного натяжения растворов солей перфторонановой кислоты / Ю. В. Григорьев, В. К. Емельянов, Д. С. Котов, Ю. В. Заневская, О. Д. Навроцкий // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2008. — № 2(24). — С. 39–57.

Материал поступил в редакцию 22 сентября 2009 г.

© Котов С. Г., Круль Л. П., Котов Д. С., 2010 г.
(e-mail: kotovg@bsu.by, kotov_sergei@rambler.ru, viscount.d@gmail.com).



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

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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

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

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

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

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

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

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

1. Реклама на обложке (полноцветная):

- 2-я полоса — 28000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
3-я полоса — 25000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
4-я полоса — 35000 руб. + 2 черно-белых полосы бесплатно.

2. Рекламная статья: 1/1 двухцветной полосы — 12000 руб.

3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.

4. Рекламные вклейки:

Размер модуля	Стоимость полноцветного модуля, руб.
1/1 полосы (215 × 300 мм)	17 000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	11 000

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**

**СПЕЦИАЛЬНОЕ АНТИКРИЗИСНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ!
С СЕНТЯБРЯ 2009 г.**

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
СУПЕРСКИДКИ			
<i>Баранин В. Н.</i>	Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — 2004. — 332 с.	5-901-283-02-5	70
<i>Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.</i>	Средства огнезащиты: справочник. — 2006. — 258 с.: ил.	5-903049-04-4	100
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
<i>Собурь С. В.</i>	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
<i>Собурь С. В.</i>	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.</i>	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	280
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.</i>	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	280
<i>Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.</i>	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	280
<i>Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А.</i>	Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — Изд. 2-е, испр. и доп. — 2007. — 380 с.	978-5-91444-002-9	310
<i>Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.</i>	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
НОВИНКИ			
	Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	978-5-91444-012-8	1500
<i>Бабуров В. П., Бабурина В. В., Фомин В. И.</i>	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2009. — 294 с.	978-5-91444-011-1	400
<i>Бондарь В. А.</i>	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
<i>Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.</i>	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
<i>Долговидов А. В., Теребнев В. В.</i>	Автоматические установки порошкового пожаротушения. — 2008. — 322 с.	978-5-91444-005-X	310
<i>Корольченко А. Я.</i>	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с. (Пособие написано с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!)	978-5-91444-013-5	350

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!)	Выходит в феврале 2010 г.	
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 Д. А., Громовой В. Ю.	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!)	Выходит в феврале 2010 г.	
Смелков Г. И.	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с. (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!)	978-5-9901554-2-8	540
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. (Книга написана с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!)	978-5-91444-008-1	950
Брушилинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Горшков В. И.	Тушение пламени горючих жидкостей. — 2007. — 268 с.	5-903049-08-7	250
Грачев В. А., Собурь С. В.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2008. — 314 с.	5-903049-10-9	300
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
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
Пилигин Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Подстаков В. В., Теребнев В. В.	Подготовка пожарных-спасателей. Противопожарная служба гражданской обороны. — 2007. — 288 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	345
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 272 с.	5-98629-012-7	145
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 общественных и жилых зданий: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил.	978-5-98629-014-0	125
Собурь С. В.	Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: пособие. — Изд. 12-е, перераб. — 2008. — 496 с.: ил.	978-5-98629-023-2	250

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Собурь С. В.	Пожарная безопасность промпредприятий: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с.	5-98629-013-5	110
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Теребнев В. В.	Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: справочник. — 2007. — 256 с.: ил.	5-902604-06-0	330
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушин А. В.	Здания повышенной этажности: учебное пособие. — 2006. — 240 с.	5-903049-06-0	300
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., 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., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушин А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушин А. В., Грачев В. А.	Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	330
Теребнев В. В., Ульянов Н. И., Грачев В. А.	Пожарная техника: учебное пособие: в 2 т. — 2007. — Т. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. — 328 с.; Т. 2: Пожарные машины. Устройство и применение. — 328 с.: ил.	5-91017-016-4 5-91017-016-5	495
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

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

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

Подписка осуществляется через следующие агентства:

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

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ, распространяющих литературу "Издательства "Пожнаука""

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

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 20 % от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

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

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



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

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

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

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

4. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и \bar{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.

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.

Suggestions to Introduction of Changes in a “Technical Enactment About Fire Safety Requirements” by Results of Law-Enforcement Practice

Krasavin A. V., Cand. of Technics, Undergraduate Student of Russian Academy of State Service under the President of RF (RASS), Moscow, Russia

Actual problem of improvement of “Technical enactment about fire safety requirements” is analysed. On the ground of the results of law-enforcement practice the concrete revisions to “Technical enactment about fire safety requirements” are suggested.

Key words: technical enactment, technical requirements, evacuation time detection calculations.

Methodological Recommendations for Evaluation of Fire Risk Independent Estimation of Objects of Protection

Starkov N.N., Cand. of Technics, Head of SRL “Pozharnaya Bezopasnost” of Tolyatti Military Technical Institute, Tolyatti, Russia

Zhuikov D. A., Cand. of Technics, Assistant Head of “Fire-Prophylactic Disciplines” Department of Tolyatti Military Technical Institute, Tolyatti, Russia

Tripolitsyn A. A., Senior Research Assistant of SRL “Pozharnaya Bezopasnost” of Tolyatti Military Technical Institute, Tolyatti, Russia

Kostin A. A., Cand. of Technics, Lecturer of “Fire-Prophylactic Disciplines” Department of Tolyatti Military Technical Institute, Tolyatti, Russia

Methodological approach to pricing of fire risk independent estimation of objects of protection taking into account variety of types of objects of protection, adequate to market economy factors, linkage of customer's and contractor's interests is examined in this article. When preparing this material authors used positive experience of pricing system creation in projecting. The single methodological approach to the pricing system of fire risk independent estimation of objects of protection creates the necessary economic prerequisites to supply these processes with ordered normative base.

Key words: fire risk, independent estimation of fire risk, price of fire risk independent estimation.

Mathematical Modeling of Flame Spread in Plain Tubes and in Tubes with Regular Hindrances

Ivanov V. S., Engeneer-Researcher of the Institute of Chemical Physics Named by N. N. Semyonov RSA, Moscow, Russia

Frolov S. M., Dr. of Physics-Mathematics, Head of Combustion and Explosion Division of the Institute of Chemical Physics Named by N. N. Semyonov RSA, Moscow, Russia

Effective computational algorithm of multivariate modeling of initial stage of transition transient process from burning to detonation in gases is worked out. The algorithm is based on a method of evident release of flame front. Two-dimensional calculations of flame acceleration in stoichiometric propane-air mix in plain tubes and in tubes with regular hindrances are conducted. Satisfactory consent of the calculation results with experimental data by dependencies of flame velocity from time and distance as for plain tubes and for tubes with regular hindrances with different heights and step of putting is given.

Key words: calculating gas dynamics, burning, flame acceleration, explosion safety.

Finite Element Simulation of Concrete Beam Behavior in a Fire Situation

Pozdeyev S. V., Ph. D. in Engineering, Associate Professor, HoD, Fire Safety Academy

Named by Heroes of Chernobyl of Ministry for Emergency management of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

Tishchenko I. Yu., Ph. D. in History, Associate Professor, Vice-Principal of Fire Safety Academy

Named by Heroes of Chernobyl of Ministry for Emergency Management of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

The article describes a finite element simulation of concrete beam behavior in a fire situation. Accordingly, the mathematical models for the materials included in the current regulatory documents have been reviewed. As the result of the conducted research, the actual fire-resistance ratings and the most efficient mathematical models for bending reinforced concrete structures flame resistance calculation have been determined.

Keywords: reinforced concrete structures, fire resistance, mathematical simulation, finite element method.

Application of Volumetric-Planning and Constructional Decisions for Fire Safety Protection of Multifunctional Public Buildings

Kosachev A. A., Assistant of Fire Safety Department of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Questions of public buildings fire safety protection in conditions of current legislation, development reasonability and special technical conditions are examined in this article.

Key words: stylobate, atrium, “Technical enactment about fire safety requirements”, fire prevention system, fire protection system.

Questions of Refuge Protection from Heat Exposure of Mass Fires in the Time of War

Sednev V. A., Dr. of Technics, Professor, Head of the Chair of Population and Territory Protection of the State Academy of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Moscow, Russia

Lysenko I. A., Associate Professor of the Chair of Population and Territory Protection of the State Academy of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Moscow, Russia

One of the most striking factors of mass fires — heat exposure and its influence on refuges is examined; arrangements contributing to decrease the negative heat exposure on refuge building envelopes are proposed. In addition the calculation procedure of heat exposure on building envelopes of refuge is presented permitting to choose the rational protection method.

Key words: refuge, civil defence, heat exposure, mass fire.

Meteorological Support of ISDM-Rosleshoz: Problems and Perspectives

Kotelnikov R. V., Head of the Centre of Fire Risk Monitoring of FSI "Avialesohrana", Pushkino of Moscow Region, Russia

Korshunov N. A., Cand. of Agricultural Sciences, Head of Aviation Educational Centre of FSI "Avialesohrana", Pushkino of Moscow Region, Russia

Present states of affairs with the meteorological support of Rosleshoz (ISDM-Rosleshoz) information system of distance monitoring are described; problems are analysed and main ways of decision are proposed.

Key words: ISDM-Rosleshoz, weather information, fire risk, forecast, monitoring.

Optimization of Flow Parameters of Fine-Sprayed Fire Extinguishing Substances

Dushkin A. L., Cand. of Technics, Deputy Director of Scientific-Research Center of New Technologies of Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Karpyshev A. V., Cand. of Technics, Director of Scientific-Research Center of New Technologies of Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Segal M. D., Dr. of Technics, Leading Scientist of the Institute of Safe Development Problems of Atomic Energy RSA, Moscow, Russia

The questions about optimization of parameters of gas-drop flows of fine-sprayed water with viewpoint of achievement of maximal efficiency of extinguishing during the burning process of solid substances and highly inflammable liquids are discussed. The results of theoretical and experimental investigations are given.

Key words: fire extinguishing, fine-sprayed water, drop size, energy, dissipation.

Theoretical Analysis of Spatial Distributing of Concentration of Drops of Aquatic Curtain

Vynogradov A. G., PhD of Physics, Associate Professor, Chief of Department of Natural-Science Disciplines, Fire Safety Academy Named After Chernobyl Heroes of Ministry for Emergency Management of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

The method of theoretical calculation of the spatial distributing of concentration of drops of aquatic curtain is presented. The equations of trajectories of spherical drops got before are fixed in the basis of method.

Key words: aquatic curtain, concentration of drops, theoretical calculation.

Development of Automatic Fire Protection System at the Gas Complex Preparation Objects Using the Drencher System and Special Photosynthetic Film-Forming Foam Former

Pavlenko A. V., Deputy Director of Fire Safety and New Technology Authority, Head of Department of "Gazprom Gazobezopasnost" LTD, Moscow, Russia

The most important risk factor at the objects of gas service uniform system of Russia is fire and explosion hazard. Hence fire safety industry organization "Gazprom gazobezopasnost" make high demands to the fire and explosion safety systems of "Gazprom" enterprises.

Key words: gas complex preparation plant, sea ice resistant stationary platform.

Creation of Belarusian Solid-State Penetrating Agents for Fire Extinguishing

Kotov S. G., Candidate of Science, Head of R&D Support and Coordination Administration of the Research Section of the Senior Management of Science, Belarusian State University, Minsk, Belarus

Krul L. P., Dr. Phil, Professor, Head of the High-Molecular Compounds Sub Department of the Chemistry Department, Belarusian State University, Minsk, Belarus

Kotov D. S., Master of Science, Engineer, UE "Geo Informational Systems" of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Theoretical aspects of SAS (surface active substances) water solutions production from solid state compounds are considered. Results of the research of water solutions and solid-state compounds on the base of polyethylene glycols and SAS are given. Compounds for creation of solid-state source for penetration agent for fire extinguishing are defined. It is showed that amount of synthesized compounds overcomes imported analog of solid-state penetration agent "Pyrocool TS".

Key words: penetrating agents for fire extinguishing, surface active substances (SAS), polyethylene glycols (PEG), solid-state source of SAS, water solutions of SAS, surface tension, wetting index.

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

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

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

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

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

профессор Т. Дж. Шилдс

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

Редакция:

Главный редактор журнала
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

Chairman of Editorial Council:

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

Deputy of Chairman of Editorial Council:

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

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

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

Editorial Council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Professor Thomas Jim Shields

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

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

PR and Subscription Section:

E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34

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

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

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 11.01.10.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство "Пожнauка" предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве" на 2010 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и три номера журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и шесть номеров журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7580 руб. (в том числе НДС — 18 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2010

Издание	Цена подписки, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год	3790 7580		
Журнал "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год	1140 2280		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 445-42-34 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 445-42-34**

ПОДПИСКА:

через редакцию журнала "Пожаровзрывобезопасность";

через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;

через агентство "АПР", индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");

через подписные агентства:

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

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

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

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

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

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



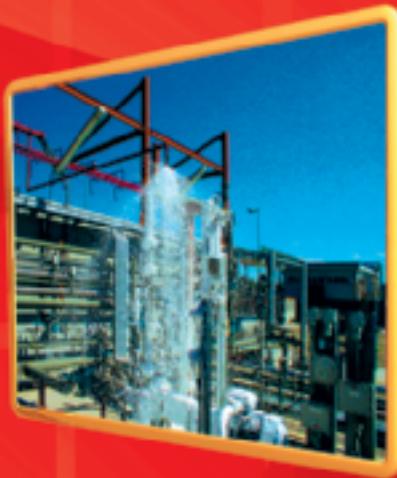
Карточка учета сведений о подписчике

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

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

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



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

ISSN 0869-7493

