

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

5'2011

Новый эффективный способ тушения лесных пожаров

Физический смысл и оценка коэффициента условий работы и критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара

Исследование пленкообразующей и изолирующей способности растворов фторированных поверхностно-активных веществ



Создание 3D-моделей многофункциональных общественных зданий с помощью пакета "Autodesk 3DS Max" для прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций

Показательные уравнения удельного сопротивления и удельной гидравлической характеристики труб для расчета водяных АУП

Закономерности смачивания горючих материалов водой и водными растворами смачивателей

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 20 • № 5 • 2011 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

Журнал издается с 1992 г. Выходит 12 раз в год

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОГНЕЗАЩИТА

Ненахов С. А., Пименова В. П. Экспериментальное изучение влияния толщины вспенивающихся покрытий на огнезащитную эффективность

Тимофеева С. В., Малысова А. С., Хелевина О. Г. Деструкция отверженных силоксановых покрытий и капроновых тканей с отверженным силоксановым покрытием под действием пламени

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ройтман В. М. Физический смысл и оценка коэффициента условий работы и критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Костерин И. В. Создание 3D-моделей многофункциональных общественных зданий с помощью пакета "Autodesk 3DS Max" с целью прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Котов Д. С. Исследование пленкообразующей и изолирующей способности растворов фторированных поверхностно-активных веществ

Воевода С. С., Макаров С. А., Молчанов В. П., Бастиров Д. Л., Крутов М. А. Закономерности смачивания горючих материалов водой и водными растворами смачивателей

Абдурагимов И. М. Новый эффективный способ тушения лесных пожаров

Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю. Показательные уравнения удельного сопротивления и удельной гидравлической характеристики труб для гидравлического расчета водяных АУП

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

FIRE RETARDANCE

- 2 Nenakhov S. A., Pimenova V. P.** Experimental Study of Fire Performance Foamed Coatings Depending on the Thickness
10 Timofeeva S. V., Malyasova A. S., Khelevina O. G. Destruction of Vulcanizate of Siloxan Covering and Kapron Materials with Vulcanizing Siloxan Covering

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

- 14 Roytman V. M.** Physics Sence and Estimation of Coefficient of Working Conditions and Critical Warming Temperature of Constructions Materials in Conditions of Fire

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

- 22 Kosterin I. V.** Creation of 3D-Models Multifunctional Public Building with Package "Autodesk 3DS Max" to Forecasting the Risk of Emergency

FIRE EXTINGUISHING

- 25 Kотов С. Г., Навроцкий О. Д., Котов Д. С.** Research of Film-Forming and Insulating Ability of Solutions of Fluorinated Surfactants

- 36 Voevoda S. S., Makarov C. A., Molchanov V. P., Bastrikov D. L., Krutov M. A.** Regularity of Wetting Combustible Materials by Water and Water Solution of Humectant

- 41 Abduragimov I. M.** New Effective Way of Forest Fires Extinction

- 52 Meshman L. M., Bylinkin V. A., Gubin R. Yu., Romanova E. Yu.** Exponential Equations of Specific Resistivity and Specific Hydraulic Pipe Characteristic for Hydraulic Calculation of Automatic Water Firefighting Installations

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

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

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



С. А. Ненахов
канд. хим. наук,
ведущий научный сотрудник
НПП "Теплохим", г. Москва, Россия



В. П. Пименова
канд. хим. наук, заместитель директора
по научной работе НПП "Теплохим",
г. Москва, Россия

УДК 614.849

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ВСПЕНИВАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОГНЕЗАЩИТНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Рассмотрены результаты экспериментального исследования влияния толщины вспенивающегося огнезащитного покрытия органо-неорганического состава на кинетику изменения температуры стального субстрата. На термограмме нагрева стального субстрата, защищенного покрытием, выделены три стадии, отличающиеся временем протекания, скоростями нагрева и состоянием покрытия (начальное, переходное, коксовое). Получены эмпирические зависимости, описывающие изменение огнезащитной эффективности покрытий и изменение кажущейся скорости движения эндотермического фронта превращений в покрытии в широком диапазоне толщин. Показано, что вклад каждой из стадий в общее время достижения предельного состояния при увеличении толщины исходного покрытия изменяется по-разному. На основе анализа полученных данных сформулировано представление об экономической нецелесообразности использования в полном спектре групп огнезащитной эффективности единого состава, даже с прекрасными огнезащитными характеристиками. С экономической точки зрения выгоднее обеспечение существующих групп огнезащитной эффективности набором материалов (это могут быть модификации одного и того же состава), отличающихся стадийной эффективностью.

Ключевые слова: вспенивающееся покрытие; полифосфат аммония; термограмма нагрева; стадии: кажущаяся скорость; минимальная толщина покрытия; влияние толщины покрытия.

Введение

Экспериментальные данные о кинетике нагрева стального субстрата, защищенного вспенивающимся огнезащитным покрытием [1–6], немногочисленны, отрывочны и чаще всего рассматриваютя как сопутствующие данные при решении других задач. Системное описание полновесной эмпирической картины, как ни странно, в литературе отсутствует вообще. Это можно объяснить, с одной стороны, обычными заблуждениями: одним кажется, что предмет уже достаточно хорошо изучен; другим представляется, что анализ термограмм защищенного субстрата, может быть, и интересен с точки зрения описания кинетики его нагрева, но лишь косвенно характеризует поведение огнезащитного покрытия; третьи считают, что здесь вообще нет предмета для изучения. И наконец, весьма распространено представление о том, что экспериментальные исследования — слишком дорогое удовольствие.

С другой стороны, растет число работ, в которых предлагаются теоретические модели кинетики такого процесса, например [7, 8]. Достоинства ма-

тематического моделирования не нуждаются в доказательствах. Но корректное моделирование сложных явлений возможно только на основе полноценного понимания физико-химических процессов. Когда же физико-химические особенности явлений не ясны, а соответствие экспериментальных и расчетных данных достигается путем подгонки, то это может быть оправдано при решении частных инженерных задач, но бесперспективно в физико-химическом смысле.

В связи с этим представляется актуальным системное экспериментальное изучение кинетики нагрева стального субстрата, защищенного огнестойким вспенивающимся покрытием. И в частности, изучение таких вопросов, как: характерные особенности термограмм, влияние толщины покрытия и стального субстрата на изменение температуры, соотнесение данных маломасштабных лабораторных исследований и крупномасштабных стеновых испытаний и др. Можно полагать, что такие данные могут быть полезны в развитии пока еще во многом неясной картины физико-химических превращений во вспенивающихся покрытиях, разработке мо-

делей и решении задач прикладного характера — при совершенствовании огнезащитных вспенивающихся материалов. Данная работа посвящена лишь небольшой части проблем: всестороннему анализу влияния толщины огнезащитного покрытия на кинетические и температурные особенности нагрева стального субстрата под вспенивающимся огнезащитным покрытием, которые и определяют интегральную характеристику — огнезащитную эффективность покрытия.

Объекты исследования

В качестве объектов исследования использовали стальные пластины (субстрат) с односторонним огнезащитным вспенивающимся покрытием толщиной от 0,11 до 4,73 мм. Огнезащитный состав готовили смешением компонентов, составляющих огнезащитную фазу (полифосфат аммония, пентаэритрит, меламин), связующее (водная дисперсия поливинилацетата) и наполнитель (диоксид титана) в воде. Соотношение компонентов принято типичное для такого рода покрытий [1]. Технология приготовления составов и покрытий не отличалась от описанной ранее [9]. Покрытия высушивали до постоянной массы. Толщину исходных покрытий контролировали электромагнитным толщиномером “Константа К5” (с точностью до 1 мкм) в девяти точках поверхности каждого образца, далее использовали среднее арифметическое значение.

Методы исследования

Закономерности нагрева стального субстрата, защищенного огнезащитным вспенивающимся органо-неорганическим покрытием, а также особенности поведения покрытия изучали с помощью лабораторной методики [10], основанной на способе определения [11] теплоизолирующих свойств вспенивающихся покрытий по металлу.

Измерение температуры стальной пластины производили с не защищенной покрытием необогреваемой стороны. Тепловой источник (электрическая печь) обеспечивал с обогреваемой стороны защищенной покрытием пластины повышение температуры вблизи исследуемого образца (температуры среды) по заданному закону, в данном случае по так называемому стандартному температурному режиму [12]:

$$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1), \quad (1)$$

где T — температура вблизи образца в момент времени t , °C (обычно практически совпадает с температурой поверхности образца);
 T_0 — температура до начала теплового воздействия, °C;
 t — время от начала испытания, мин.

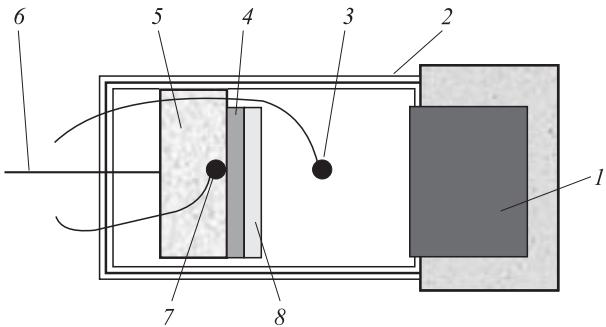


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для изучения кинетики нагрева стальной пластины, защищенной вспенивающимся покрытием: 1 — источник тепла; 2 — теплоизолирующий кожух; 3 — термопара измерения температуры среды; 4 — металлическая пластина; 5 — теплозолированный подвижной держатель образца; 6 — шток перемещения держателя с образцом; 7 — термопара измерения температуры стальной пластины; 8 — огнезащитное покрытие

Изменение температуры достигалось приближением образца к окну предварительно разогретой печи. Температуру среды контролировали на расстоянии 40 мм от поверхности образца. Нагрев стального субстрата осуществляли от температуры $T_0 = 20 \div 30$ °C до 510 °C (предельная температура для стали 500 °C), что обеспечивалось нагревом среды до $T = 580 \div 900$ °C.

Экспериментальная установка включает (рис. 1): тепловой источник 1 — электропечь СНОЛ 6/12.2 с максимальной температурой нагрева 1250 °C и номинальной мощностью 12,5 кВт; устройство для механической подачи исследуемого образца, обеспечивающее заданный режим нагрева и состоящее из теплоизолирующего кожуха 2 и теплозолированного подвижного держателя образца 5, снабженного штоком перемещения 6; устройство контроля температуры УКТ-38-Щ4; адаптер сети АС-2; персональный компьютер. Система измерения включает термопару контроля температуры среды 3 и термопару контроля температуры стальной пластины 7. Температура регистрируется с периодичностью 6 с.

Стальные пластины изготавливали из стали 08КП [13] размером 140×80 мм, толщиной 1 мм. Устройство позволяет изменять температуру среды с отклонениями, допустимыми согласно [12], и обеспечивает удовлетворительную воспроизводимость результатов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Характерные термограммы нагрева стальной пластины в условиях одномерного теплового потока при стандартном температурном режиме под вспенивающимися покрытиями различной толщины представлены на рис. 2. В отсутствие покрытия термо-

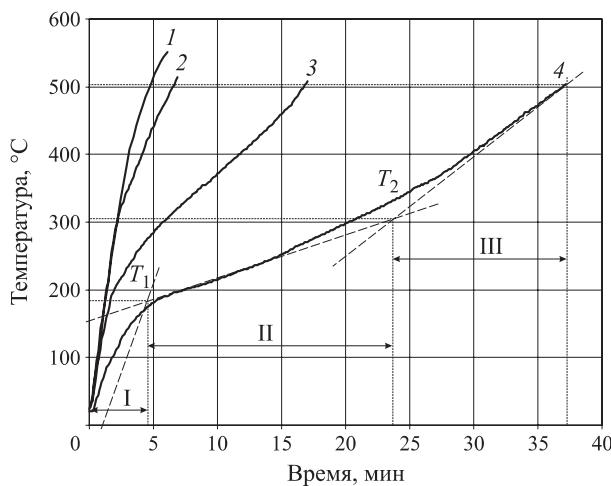


Рис. 2. Термограммы нагрева стальной пластины без покрытия (1) и под вспенивающимися огнезащитными покрытиями толщиной 0,11 мм (2); 0,60 мм (3) и 2,64 мм (4)

граммой стальной пластины имеет вид восходящей гладкой кривой с убывающим во времени углом наклона, предельная температура (500°C) достигается в течение 5 мин. При наличии на пластине тонкого (0,1 мм) вспенивающегося покрытия термограмма, начиная с температуры примерно 300°C , смещается в область большего времени; предельная температура достигается за 5,9 мин. При дальнейшем увеличении толщины покрытия термограммы смещаются в сторону большего времени и приобретают ярко выраженный трехстадийный характер. При изменении толщины покрытия от 0,1 до 4,7 мм время достижения предельного состояния возрастает до 50 мин. Температура среды при достижении образцами предельного состояния составляет 580°C на тонком (0,1 мм) и 900°C — на толстом (4,7 мм) покрытии.

Различные стадии термограммы связывают [14] с тремя состояниями покрытий.

На первой стадии — нагреве (I) покрытие остается в начальном состоянии, передача тепла к субстрату через покрытие лимитируется его теплопроводностью, скорость нагрева зависит от коэффициента теплопроводности и толщины исходного покрытия*.

Вторую стадию (II) связывают с физико-химиическими превращениями, т. е. с перестройкой молекулярной (атомной) структуры, сопровождающейся отъемом тепла, и торможением теплового потока образующейся структурой (пенококсом).

На третьей стадии (III), ограниченной для стальных субстратов предельной температурой 500°C ,

покрытие по всей толщине представляет собой вспененный кокс, теплопроводность и толщина которого контролируют теплоперенос, а значит и скорость нагрева субстрата.

Все три стадии термограммы аппроксимируются прямыми линиями, что видно на рис. 2 (термограмма для толщины покрытия 2,64 мм). Далее для удобства будем называть стадии (и, соответственно, состояния покрытия) начальной, переходной и коксовой. Рассмотрим изменение кинетических характеристик отдельных стадий в зависимости от толщины покрытия одного и того же состава.

Определим скорость нагрева V на каждой стадии как касательную к кривой на соответствующем участке термограммы, т. е. $V = dT/dt$ (T — температура субстрата; t — время). Скорости нагрева стального субстрата на различных стадиях нагрева представлены на рис. 3. С увеличением толщины исходного покрытия скорости на всех стадиях уменьшаются по гладким вогнутым кривым. При всех толщинах наибольшая скорость характерна для начальной стадии (V_1), наименьшая — для переходной (V_2). При толщине покрытия 1–2 мм различие скоростей V_1 и V_2 достигает одного порядка величины. В изученном интервале толщины скорость снижается на начальной стадии примерно в пять раз, на переходной стадии — на один порядок величины, на коксовой (V_3) — примерно в пять раз. В области толщин более 0,8 мм скорость нагрева на переходной стадии снижается медленнее, но остается самой низкой в сравнении с другими стадиями.

Скорость нагрева стального субстрата на начальной стадии V_1 при толщине исходного покрытия 100 мкм практически совпадает со скоростью нагрева стальной пластины без покрытия ($142^{\circ}\text{C}/\text{мин}$). Скорости нагрева на переходной и коксовых стадиях достаточно близки между собой в области малых

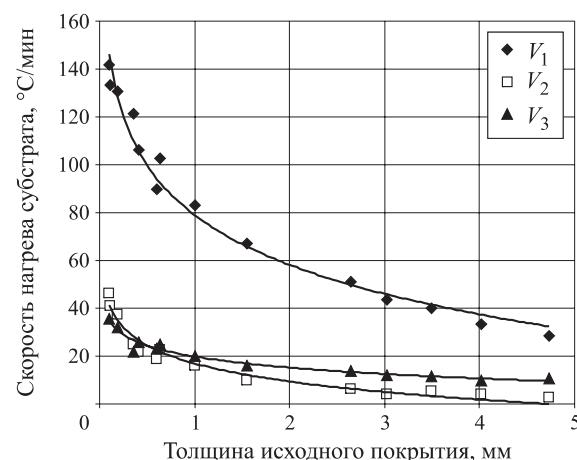


Рис. 3. Скорость нагрева стального субстрата на начальной (V_1), переходной (V_2) и коксовой (V_3) участках термограммы

* Ради точности следует заметить, что термограммы защищенных покрытиями пластин в начале нагрева имеют некий индукционный период, связанный с прохождением теплового фронта через покрытие. Но в связи с его малостью (10–20 с) в общей кинетической картине им можно пренебречь.

толщин покрытий (менее 0,6 мм), но с ростом толщины различие в скоростях возрастает и в конце изученного диапазона толщин скорости различаются в три раза.

Следует заметить, что данные зависимости (а также и другие, рассматриваемые ниже) являются суперпозицией двух вкладов: собственно толщины покрытия и температуры среды, поскольку последняя не является стационарной. Снижение скоростей на начальной и коксовой стадиях обусловлено, очевидно, только ростом толщины соответственно исходного покрытия и слоя пенококса. Что касается скорости нагрева на переходной стадии вспенивающихся органо-неорганических составов, она также снижается в изученном диапазоне толщин, но в отличие от составов на основе жидкого натрий-силикатного стекла, для которого переходная стадия выглядит практически горизонтальной “полкой” [15], нигде не обращается в ноль.

Длительность стадий (определенная как расстояние между точками пересечения касательных на термограмме) возрастает с толщиной исходного покрытия (рис. 4), но для различных стадий по-разному. Из рисунка видно, что протяженность начального и коксового участков с ростом толщины возрастает линейно, зависимость протяженности переходной стадии от толщины исходного покрытия имеет параболический характер.

При толщине примерно до 1,5 мм время переходной стадии превышает время коксовой стадии, около 1,5 мм — время переходной и коксовой стадий соизмеримы. При дальнейшем увеличении толщины исходного покрытия время коксового состояния начинает опережать время переходного состояния. Можно полагать, что качественно такое соотношение будет справедливо для любых органо-неорганических составов, количественные характеристики могут изменяться от состава к составу в соответствии с коэффициентом вспенивания и величиной эндотермического эффекта.

Рассмотрим также температурный диапазон ΔT_s , в пределах которого развивается переходная стадия. Диапазон ограничен нижней (T_1) и верхней (T_2) температурными границами (на рис. 2 — точки пересечения касательных соответственно к I и II участкам термограммы). Зависимость температурных границ диапазона от толщины исходного покрытия представлена на рис. 5. Заметим, что нижняя температурная граница переходной стадии является нижней границей активности данного вспенивающегося покрытия: ниже ее вспенивание и формирование кокса отсутствует. При малых толщинах эта температура субстрата достаточно высока — порядка 300 °C, но при толщине исходного покрытия около 1 мм она резко снижается и далее стремится к

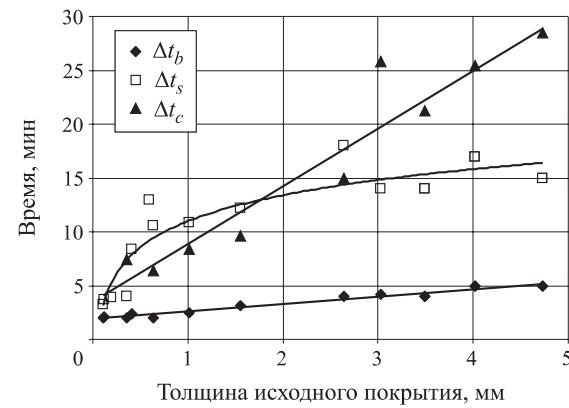


Рис. 4. Длительность начальной (Δt_b), переходной (Δt_s) и коксовой (Δt_c) стадий в зависимости от толщины исходного покрытия

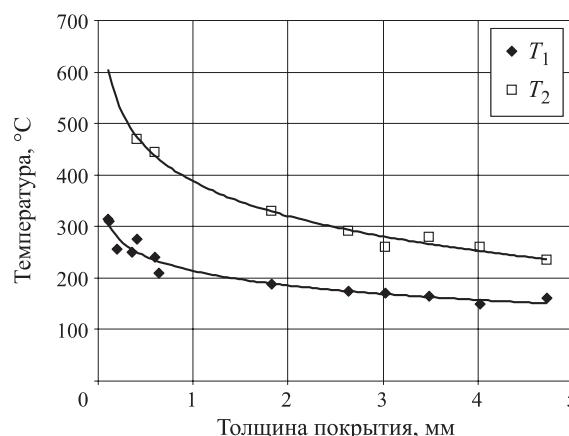


Рис. 5. Зависимость температурных границ переходной стадии от толщины исходного покрытия

170 °C — температуре, соответствующей согласно данным дифференциальной сканирующей калориметрии [16] началу основной переходной области в составах с полифосфатом аммония. Температурный диапазон, в котором реализуется переходная стадия, с ростом толщины покрытия сужается с 300 (при 0,1 мм) до 80 °C (при 4,7 мм). Еще раз отметим, что в покрытиях на основе жидкого натрий-силикатного стекла на стадии превращений температура субстрата практически постоянна.

И наконец, обычно определяемая интегральная характеристика процесса — время t_e достижения предельного состояния стального субстрата (500 °C) — в зависимости от толщины покрытия (рис. 6) возрастает нелинейно: в области малых толщин (до 1 мм) предельное время быстро увеличивается с ростом толщины исходного покрытия; при дальнейшем увеличении толщины покрытия прирост времени постепенно убывает.

Проанализируем закономерности влияния толщины покрытия на предельное время его действия. Для этого представим степенную зависимость (см.

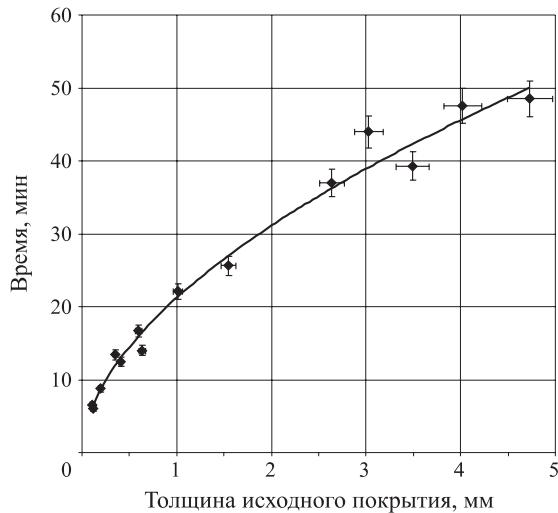


Рис. 6. Зависимость предельного времени огнезащиты от исходной толщины вспенивающегося покрытия

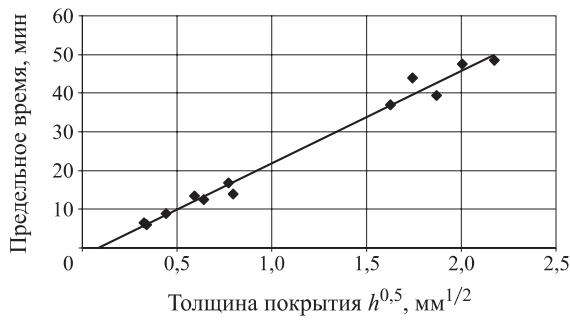


Рис. 7. Зависимость времени достижения предельного состояния покрытия от его толщины

рис. 6) в координатах $h^{0,5} - t_e$ (рис. 7), из которой видно, что экспериментальные данные в указанных координатах удовлетворительно описываются линейным трендом (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,985$):

$$t_e = 23,92h^{0,5} - 2,057. \quad (2)$$

Здесь коэффициент перед толщиной h (в данном случае равный 23,92) можно назвать коэффициентом толщинной эффективности с размерностью [мин/ $\text{мм}^{1/2}$].

Из рис. 7 видно, что зависимость пересекает ось абсцисс при некоей толщине, не равной нулю. Это может означать, что существует некая минимальная критическая толщина исходного покрытия h_c , ниже которой вспенивающееся огнезащитное покрытие не проявляет своих свойств. Конечно, и при этой толщине происходит образование кокса (следов), но эндотермический эффект при этом чрезвычайно мал, вспенивания практически не происходит, все освобождающиеся в результате физических и химических превращений пары и газы в отсутствие поверхностного барьера покидают покрытие. И толь-

ко после образования барьера — некоего первично-го слоя кокса на покрытии толщиной h_c — под ним при дальнейшем развитии превращений в глубину покрытия имеет место формирование вспененного кокса. Из уравнения тренда легко определить h_c (для чего следует подставить в уравнение (2) значение времени нагрева незащищенной стальной пластины $t = 5$ мин). Тогда критическая толщина составит 0,087 мм (или 87 мкм). Заметим также, что уравнение (2) справедливо для $h \geq 0,087$ мм.

Линейный характер зависимости предельного времени действия покрытия от его толщины в координатах $h^{0,5} - t_e$ можно рассматривать как свидетельство того, что механизм, лежащий в основе зависимости, не изменяется с толщиной. Можно полагать, что параболический характер этой зависимости связан с тем, что длительность переходной стадии также является параболической функцией толщины исходного покрытия.

Переходную стадию связывают [1] с появлением на внешней поверхности покрытия тонкого слоя, в котором происходят физические и химические превращения, начинающиеся при достижении соответствующей температуры T^* и протекающие далее при постоянной температуре (или в интервале температур) с эндоэффектами (с поглощением тепла) и образованием вспененного кокса. Иными словами, в ходе переходной стадии фронт превращений продвигается от внешней поверхности покрытия к границе с субстратом, оставляя за собой слой пенококса. Перед движущимся фронтом температура не может превысить температуру превращений; за фронтом превращений в слое пенококса температура должна изменяться от T^* до температуры окружающей среды. Допустим, что скорость перемещения фронта превращений W или стефановского фронта [17] можно определить как отношение толщины исходного покрытия h к временной протяженности переходной стадии (эндотермического участка) термограммы Δt_s . Тогда скорость движения фронта (корректнее говорить о кажущейся скорости движения фронта) можно записать как $W = h/\Delta t_s$.

Можно было бы полагать, что в отсутствие структурных градиентов по толщине покрытия кажущаяся скорость не должна зависеть от толщины исходного покрытия. Однако экспериментальные данные показывают, что кажущаяся скорость возрастает с ростом толщины покрытия примерно на порядок в изученном диапазоне толщин исходного покрытия (рис. 8).

Зависимость кажущейся скорости движения фронта от толщины исходного покрытия удовлетворительно аппроксимируется прямой (см. рис. 8), тренд описывается соотношением $W = 0,49 + 0,05h$ (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,932$). Заметим, что при

толщине исходного покрытия 1 мм скорость движения фронта превращений составляет порядка 1,2 мкм/с и, соответственно, время движения фронта при толщине исходного покрытия 1 мм должно составить порядка 14 мин (в данных условиях эксперимента).

Можно предположить, что увеличение кажущейся скорости перемещения фронта с ростом толщины связано главным образом с тем, что более толстые покрытия, "работающие" длительное время, испытывают воздействие более высоких температур (температура среды во времени возрастает) и, соответственно, больших плотностей тепловых потоков, тогда как для превращений (фазовых и др.) требуется определенная постоянная удельная теплота (зависящая от состава, но не от толщины покрытия).

Действительно, если сопоставить толщины покрытий с температурами среды, при которых завершается переходная стадия (точка T_2) для каждой толщины покрытия, и представить зависимость кажущейся скорости от температуры среды, при которой завершается переходная стадия при каждой толщине исходного покрытия (рис. 9), то кажущаяся скорость оказывается пропорциональной температуре T^4 : $W = -0,02 + 0,04T^4$. Поскольку в законе излучения Стефана – Больцмана плотность потока энергии пропорциональна T^4 , то можно полагать, что полученная эмпирическая зависимость не случайна, а кажущаяся скорость движения фронта превращений пропорциональна плотности потока энергии (температуре). Таким образом, увеличение толщины покрытия в условиях нестационарного теплового потока сопровождается ростом времени переходной стадии (см. рис. 4) и общего времени (см. рис. 6). Однако прирост времени с ростом толщины сокращается, что можно объяснить увеличением скорости движения фронта превращений с ростом температуры среды. По-видимому, определенную роль играет характер переноса тепла в зернисто-пористой структуре исходного покрытия, а также скорость молекулярных превращений в зоне фронта и "тонкие" особенности строения фронтовой зоны.

Из наличия влияния температуры среды на скорость движения фронта превращений следует, что при достаточно больших толщинах покрытия фронт начинает движение с одной скоростью, а подходит к границе раздела *покрытие – металл* с другой, гораздо большей скоростью, т. е. в процессе движения фронта может иметь место некое ускорение. В таких условиях нельзя исключить структурную неоднородность образующегося пенококса, которая может служить источником дефектов, напряжений, что чревато разного рода нарушениями сплошности пенококса.

Можно также предположить, что рассмотренная выше минимальная критическая толщина покры-

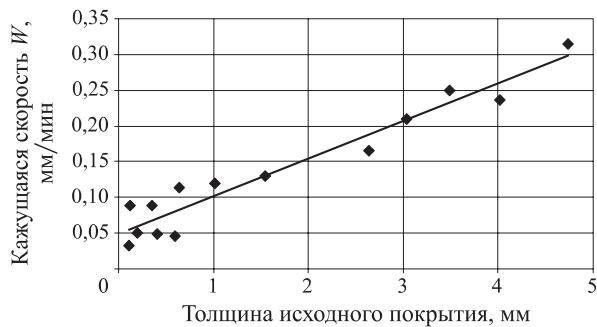


Рис. 8. Зависимость кажущейся скорости перемещения фронта превращений в покрытии от его исходной толщины

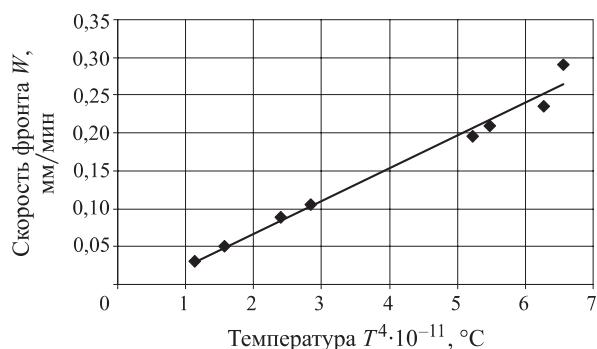


Рис. 9. Зависимость кажущейся скорости движения фронта превращений от температуры среды

тия h_c соответствует размеру зоны превращения. Тогда это достаточно протяженная область, границы которой, с одной стороны, представляют собой собственно фронт зоны, а с другой — за тыльной границей зоны простирается слой полностью сформированного вспененного кокса. По нашему мнению, слой определенной толщины между фронтом и тыльной границей, в котором происходят разнообразные превращения в достаточно широком интервале температур, — это более реалистичное предположение, нежели бесконечно тонкий слой. Приведенный здесь размер зоны превращений (0,87 мкм) не является константой, зависит от многих факторов и может изменяться в широком диапазоне значений*. Не исключено, что толщина зоны превращений изменяется и в пределах одного покрытия по мере нарастания температуры среды и плотности теплового потока.

Заключение

В заключение нам представляется целесообразным привести соображения, иллюстрирующие продуктивность экспериментального изучения и после-

* Согласно данным, полученным нами в последние годы на самых различных модельных и коммерческих системах, критическая толщина покрытия может лежать в диапазоне 30–100 мкм.

дующего анализа кинетики нагрева стального субстрата под огнезащитными вспенивающимися покрытиями. Во-первых, отметим, что изложенный здесь подход позволяет с помощью нехитрой лабораторной методики и недорогой процедуры не просто регистрировать время достижения предельного состояния*, но получать детальную информацию о поведении покрытий на различных стадиях и использовать эти данные при совершенствовании любых свойств вспенивающихся композиций (термических, реологических свойств краски, для улучшения стабильности свойств покрытий во времени, устойчивости к атмосферным воздействиям и т. д.) при модифицировании состава. Не зря лабораторные методы изучения огнезащитных покрытий являются предметом рассмотрения на конференциях [18]. Во-вторых, представленный подход, хотя и является по сути дела модельным, способен воспроизвести условия "стандартного" и любого другого пожара. В эксперименте изучается непосредственно макрокинетика поведения вспенивающегося покрытия на каждой из присущих ему стадий и, в принципе, применительно к различным субстратам. Кроме соображений общего порядка, рассмотрим конкретный пример анализа зависимости эффективности вспенивающихся покрытий от их толщины.

Примем время достижения предельного состояния для каждой изученной толщины покрытия за единицу. На основании данных рис. 4 можно рассчитать долю каждой стадии в общем времени и тем самым оценить вклад каждой стадии в предельное время для огнезащитного покрытия τ : $\tau_e = (\Delta t_b + \Delta t_s + \Delta t_c)/t_e = \tau_b + \tau_s + \tau_c = 1$ (рис. 10). Из рисунка видно, что вклад каждой стадии в предельное время изменяется в зависимости от толщины покрытий. Так, вклад начальной стадии является наименьшим, составляет примерно 0,3 для покрытия с минимальной изученной толщиной и уменьшается примерно до 0,1 при толщине около 1 мм, а далее изменяется слабо. Вклад переходной стадии (первоначально равный примерно 0,6 и самый высокий) с ростом толщины убывает. Вклад коксовой стадии изменяется противоположным образом: при малых толщинах он довольно мал (порядка 0,2), затем он быстро возрастает и на больших толщинах обеспечивает примерно 50 % огнезащитной эффективности. Можно полагать, что эта картина имеет достаточно общий характер (для вспенивающихся материалов различного состава).

Из картины изменения вкладов в зависимости от толщины покрытия можно сделать достаточно

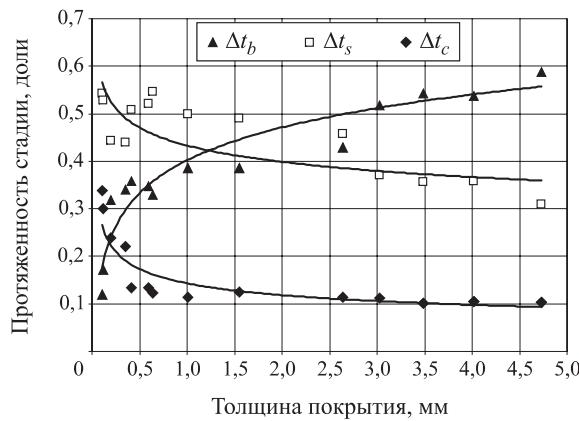


Рис. 10. Временной вклад каждой из стадий в зависимости от толщины исходного покрытия

"крамольный" вывод о том, что один и тот же состав не может быть универсальным для разных толщин покрытия, т. е. одинаково эффективным для любых толщин покрытия в смысле соотношения "цена/качество".

Так, в случае малых предельных времен и, соответственно, малых толщин покрытия (примерно до 0,8 мм) нет смысла в большой коксовой составляющей, которая при малых толщинах покрытия может быть даже ниже любых других вкладов. А эффективность начальной стадии действующего покрытия может быть значительно повышенена путем снижения теплопроводности исходного покрытия, например за счет применения в составе дешевых неорганических наполнителей (вермикулитовой, базальтовой крошки и т. п.). Конечно, при этом уменьшится и вклад переходной стадии, поскольку относительное содержание огнезащитной вспенивающейся фазы в составе снизится. Но для этих толщин (и, соответственно, групп низкой огнезащитной эффективности) можно изготовить достаточно дешевый состав.

В интервале толщин покрытия от 0,8 до 2 мм целесообразно использовать составы, имеющие эффективную переходную стадию, где важны и эндотермические эффекты, и теплопроводность пенококса. По указанным уже причинам в средних и высоких группах огнезащитной эффективности нерационально пытаться достичь ее снижением теплопроводности исходного покрытия путем введения наполнителя с низкой теплопроводностью, теряя при этом эффективный в этой области толщин вклад переходной стадии. В то же время на переходной и коксовой стадиях наполнители с низкой теплопроводностью малоэффективны в сравнении с пенококсом.

Для толщин более 2 мм целесообразно применять составы с высоким коэффициентом вспенивания, т. е. в этой группе покрытий технологам надо "бороться" не столько за эндотермичность, сколько

* Предельное состояние — важная для защищаемой стальной конструкции температурная характеристика, но эта температура не связана с какими-либо значимыми характеристиками вспенивающегося покрытия.

за совершенствование коксовой стадии (коэффициент вспенивания, коэффициент теплопроводности и прочность пенококса). Эти рассуждения справед-

ливы применительно к любому субстрату (пластику, древесине) и любому защищаемому изделию (от бортовых самописцев до строительных конструкций).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson Ch. E., Dziuk J., Mallow W. A., Buckmaster J. Intumescent Reaction Mechanisms // Journal of Fire Science. — 1985. — No. 3. — P. 161.
2. Шуклин С. Г. Процессы карбонизации при формировании многослойных огнетеплозащитных покрытий, содержащих углеродные металлы и содержащие наноструктуры : автореф. дис. ... д-ра хим. наук. — Ижевск : ГТУ, 2006.
3. Wang Z., Han E., Ke W. Influence of nano-LDHs on char formation and fire-resistant properties of flame-retardant coating // Progress in Organic Coatings. — 2005. — No. 53. — P. 29–37.
4. Голованов В. И. Прогнозирование огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, 2008. — 48 с.
5. Ямщикова С. А. Повышение огнезащитной способности вспучивающихся покрытий для объектов нефтегазовой отрасли : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Уфа : Уфимский гос. нефтяной технический университет, 2009. — 24 с.
6. Гаращенко А. Н., Страхов В. Л., Рудзинский В. П. Рыжков А. А. Апробирование методики расчетов вспучивающейся огнезащиты строительных конструкций на примере покрытия Хен-сотерм 4КС // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8, № 5. — С. 29–37.
7. Баженова Е. Н. Математическое моделирование физико-химических процессов во вспучивающихся огнезащитных полимерных материалах : дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Ижевск, 2002. — 112 с.
8. Бессонов Н. М., Еремина Т. Ю., Дмитриева Ю. Н., Крашенинникова М. В. Расчетный метод определения пределов огнестойкости металлоконструкций, покрытых огнезащитным вспучивающимся составом // Пожарная безопасность. — 2007. — № 1. — С. 22–28.
9. Ненахов С. А., Пименова В. П. Влияние концентрации газообразующего агента на закономерности развития пенококса огнезащитных составов // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 3. — С. 14–26.
10. Методика определения теплоизолирующих свойств вспучивающихся покрытий по металлу. — М. : НПП “Теплохим”, 2005. — 8 с.
11. Колганова М. Н., Левитес Ф. А., Московская А. М. Инструкция по определению теплоизолирующих свойств вспучивающихся покрытий по металлу. — М. : ВНИИПО, 1980.
12. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: введ. 01.01.96. — М. : Изд-во стандартов, 1996.
13. ГОСТ 16523–70. Сталь листовая углеродистая качественная и обыкновенного качества общего назначения : введ. 01.01.1972. — М. : Изд-во стандартов, 1972.
14. Ненахов С. А., Пименова В. П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония (литературный обзор) // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 11–58.
15. Ненахов С. А., Соколов А. В. Влияние наполнителей на огнезащитные свойства натрий-силикатных покрытий // Полимерные композиционные материалы и покрытия : материалы 2-й Международной научно-технической конференции. Ярославль, 17–19 мая 2005. — С. 208–213. URL : <http://www.neohim.ru/about/articles/3-06>.
16. Лепилина Р. Г., Смирнова Н. М. Термограммы неорганических фосфорных соединений. — Л. : Наука, 1984.
17. Buckmaster J., Anderson Ch., Nachman A. A model for Intumescent paints // Int. J. Eng. Sci. — 1986. — Vol. 24, No. 3. — P. 263–276.
18. Bourbigot S., Duquesne S. Resistance to fire of intumescent coating using small scale tests // Proceedings of Conference “Fire Retardant Coatings III”. — Berlin : Vincentz, 2008. — P. 21–32.

Материал поступил в редакцию 30 марта 2011 г.
Электронный адрес авторов: nenakhov.st@list.ru.



С. В. Тимофеева
канд. хим. наук, доцент
Ивановского института
ГПС МЧС РФ, г. Иваново,
Россия



А. С. Малысова
Канд. хим. наук, научный сотрудник
Ивановского государственного
химико-технологического универ-
ситета, г. Иваново, Россия



О. Г. Хелевина
д-р хим. наук, профессор Ивановского
государственного химико-технологического
университета, профессор Ивановского
института ГПС МЧС РФ, г. Иваново, Россия

УДК 678.84:614.841

ДЕСТРУКЦИЯ ОТВЕРЖДЕННЫХ СИЛОКСАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ И КАПРОНОВЫХ ТКАНЕЙ С ОТВЕРЖДЕННЫМ СИЛОКСАНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЛАМЕНИ

Методом инфракрасной спектроскопии изучена деструкция отверженных силоксановых покрытий на основе жидкого низкомолекулярного каучука СКТН-А, отверженного методом поликонденсации, жидкого каучука 3605 фирмы "Dow Corning", отверженного методом полиприсоединения, и капроновых тканей с отверженным покрытием на основе указанных жидких каучуков под действием пламени. Показано, что деструкция отверженных полисилоксановых каучуков происходит по связям $-\text{C}-\text{H}$, $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$, $-\text{Si}-\text{CH}_3$ и что наиболее интенсивно протекают процессы деструкции с участием силенольных групп $-\text{Si}-\text{OH}$. Материалы с покрытием на основе жидкого силоксанового каучука 3605, отверженного методом полиприсоединения, менее пожароопасны, чем материалы с покрытием на основе жидкого силоксанового каучука СКТН-А, отверженного методом поликонденсации.

Ключевые слова: жидкие силоксановые каучуки; деструкция; поликонденсация; метод инфракрасной спектроскопии.

Ранее было показано, что нанесение отверженных силоксановых покрытий на основе жидких низкомолекулярных каучуков СКТН на капроновую и лавсановую ткани позволяет получать материалы пониженной пожарной опасности [1]. Однако механизм огнезащитного действия отверженных низкомолекулярных силоксановых каучуков остается невыясненным.

В настоящей работе описано исследование методом инфракрасной спектроскопии деструкции отверженных силоксановых покрытий и капроновых тканей с отверженным силоксановым покрытием под действием пламени. Инфракрасные спектры регистрировали на спектрофотометре AVATARTM 360-FT-IR-E.S.P. Исследования проводили на отверженных силоксановых пленках и легкой капроновой ткани арт. 56011 с отверженным силоксановым покрытием. Инфракрасные спектры капрона (полиамида-6) подробно описаны в работе [2].

Изучение инфракрасных спектров отверженного жидкого каучука СКТН-А, полученного методом поликонденсации, и отверженного жидкого каучука 3605 фирмы "Dow Corning", полученного методом полиприсоединения, показало, что эти спектры яв-

ляются типичными для силоксановых эластомеров и характеризуются полосами поглощения метильных групп, в частности связей $-\text{C}-\text{H}$ ($2980-2830 \text{ см}^{-1}$) и $-\text{Si}-\text{CH}_3$ ($1261; 801 \text{ см}^{-1}$). Характерными для силоксанов являются и полосы поглощения 1096 и 1022 см^{-1} , связанные с наличием в силоксанах валентных колебаний связей соответственно $-\text{Si}-\text{O}$ и $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ [3]. В спектрах отверженного жидкого каучука СКТН-А имеется полоса поглощения в области 3640 см^{-1} , связанная с наличием в пленках и покрытиях на его основе закапсулированного этилового спирта [4], а также полосы поглощения в области 3510 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям связей $-\text{O}-\text{H}$ в силенольной группе $-\text{Si}-\text{OH}$, и в области 908 см^{-1} — валентным колебаниям $-\text{Si}-\text{O}$ в группе $-\text{Si}-\text{OH}$ [5].

Значения волновых чисел полос поглощения инфракрасных спектров силоксановых пленок на основе жидких каучуков СКТН-А и 3605 фирмы "Dow Corning" приведены в табл. 1 и 2. Из данных табл. 1 видно, что под действием пламени происходит снижение интенсивности, смещение в сторону низких частот, а затем и полное исчезновение полос поглощения в областях 3640 ; 3510 и 908 см^{-1} , соответствующих валентным колебаниям связей $-\text{O}-\text{H}$

© Тимофеева С. В., Малысова А. С., Хелевина О. Г., 2011

закапсулированного этилового спирта и $-Si-O-$ связей в силанольной группе. Таким образом, под действием пламени при экспозиции более 5 с силанольные группы и этиловый спирт отверженных пленок исчезают полностью. Из данных табл. 2 видно, что полосы поглощения 3640; 3510 и 908 cm^{-1} полностью отсутствуют в пленках жидкого каучука 3605 фирмы “Dow Corning”, отверженных методом полиприсоединения.

Анализ данных табл. 1 и 2 позволяет сделать заключение, что большинство полос поглощения сохраняется до экспозиции в пламени в течение 10–15 с. Происходит только снижение интенсивности полос поглощения. Через 10–15 с экспозиции в пламени основная масса полос поглощения смещается в сторону низких волновых чисел при одновременном снижении их интенсивности. Наиболее сильно снижается интенсивность полос поглощения, принадлежащих деформационным колебаниям связей $-Si-\text{CH}_3$ (1261 и 800–801 cm^{-1}), что свидетельствует о пиролизе молекул полисилоксана по метильным группам. Уменьшается интенсивность полос, принадлежавших соответствующим валентным колебаниям связей $-C-H$ в области 2980 cm^{-1} , что свидетельствует о деструкции молекул силоксана по связям $-Si-O-Si-$. Через 18–20 с экспозиции в открытом пламени в инфракрасных спектрах поглощения появляются полосы поглощения в области 453 cm^{-1} , что можно отнести к изменению характера скелетных молекулярных колебаний. При этом происходит повышение интенсивности полосы при 1650 cm^{-1} , что относится к деформационным колебаниям связей $-O-H$, которые образуются при разрушении связей $-Si-O-Si-$.

Эти данные согласуются с имеющимися представлениями о деструкции кремнийорганических соединений, описанными в литературе. Так, в работе [6] изучен пиролиз полисилоксанов при температуре 350–400 °С в вакууме. При этом обнаружено разрушение силоксановой цепи с образованием гидроксильных групп, причем наиболее интенсивно протекает деструкция с участием силанольных групп. При отсутствии и замене последних на группы $-Si-\text{CH}_3$ скорость деструкции снижается в 30–35 раз [7]. Согласно литературным данным [7, 8] связь $-Si-O-Si-$ расщепляется по гетеролитическому механизму, кислород же и свободные радикалы на эту связь не действуют. В отличие от связи $-Si-O-Si-$ связь $-Si-C-$ при пиролизе расщепляется по радикальному механизму.

Таким образом, на основании инфракрасных спектров отверженных пленок из жидких силоксановых каучуков СКТН-А и 3605 фирмы “Dow Corning”, подвергшихся действию пламени, установлено, что разрушение этих пленок происходит по

Таблица 1. Волновые числа полос поглощения в ИК-спектрах силоксановых пленок на основе жидкого каучука СКТН-А, подвергшихся воздействию пламени

Волновые числа, cm^{-1} , при длительности экспозиции, с							
0	3	5	10	15	18	20	25
3640	3620	3600	—	—	—	—	—
3510	3500	3500	—	—	—	—	—
3420	3420	3420	3420	3416	3413	3410	3400
2980	2980	2980	2980	2980	2980	2975	2970
1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650
1460	1460	1460	1460	1460	1450	1440	1430
1261	1261	1261	1261	1261	1250	1245	1237
1096	1096	1096	1096	1090	1087	1085	1080
1022	1022	1022	1022	1010	1008	1005	950
908	908	908	—	—	—	—	—
864	864	864	864	860	850	842	835
801	801	801	801	790	780	775	770
531	530	530	530	530	525	520	515
—	—	—	—	—	453	453	453
400	400	400	400	400	425	430	430

Таблица 2. Волновые числа полос поглощения в ИК-спектрах силоксановых пленок на основе жидкого каучука 3605 фирмы “Dow Corning”, подвергшихся воздействию пламени

Волновые числа, cm^{-1} , при длительности экспозиции, с							
0	3	5	10	15	20	25	
3420	3420	3420	3420	3420	3416	3413	
2980	2980	2980	2980	2980	2975	2971	
2830	2830	2830	2830	2830	2826	2812	
1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	
1380	1380	1380	1380	1380	1377	1373	
1260	1260	1260	1260	1260	1260	1255	
1097	1097	1097	1097	1097	1095	1093	
1022	1022	1022	1022	1022	1019	1016	
801	801	801	801	801	800	878	
650	650	650	650	650	648	646	
531	531	531	531	531	530	528	
—	—	—	—	—	453	453	

связям $-Si-O-Si-$, $-Si-\text{CH}_3$ и $-C-H$. Установлено также, что в пленках на основе жидкого силоксанового каучука СКТН-А, полученных методом поликонденсации, присутствует в небольшом количестве (~3 %) закапсулированный этиловый спирт, выделяющийся в качестве побочного соединения при поликонденсации, который повышает пожарную опасность получаемых материалов. Напротив, в отвержен-

денных пленках и покрытиях на основе каучука 3605 фирмы “Dow Corning”, полученных методом полиприсоединения, никаких побочных соединений не содержится, что существенно повышает защитные свойства силоксановых покрытий.

С целью изучения инфракрасных спектров материалов на границе раздела фаз были сняты ИК-спектры исходной тонкой капроновой ткани арт. 56011 и ее же с отвержденным силоксановым покрытием на основе жидких каучуков СКТН-А и 3605 фирмы “Dow Corning”.

При сравнении инфракрасных спектров обнаружено, что нанесение отверженного силоксанового покрытия приводит к смещению интенсивной полосы поглощения капрона (3301 см^{-1}) в область более низких волновых чисел (3295 см^{-1}). Происходит также смещение в сторону меньших волновых чисел полосы поглощения отверженного силоксанового покрытия (пленки) — с 1650 до 1641 см^{-1} . В сторону меньших волновых чисел смещается и полоса поглощения капрона Амид II (амидной группы) при нанесении на капроновую ткань арт. 56011 отверженного силоксанового покрытия — с 1560 до 1533 см^{-1} .

При нанесении отверженных покрытий на основе жидких каучуков СКТН-А и 3605 фирмы “Dow Corning” на капроновую ткань исчезновение или появление новых полос не наблюдается, что позволяет сделать вывод об отсутствии новых ковалентных связей капрона с силоксановым покрытием. Подтверждением этого являются литературные данные [6] по степени ионизации связей $-\text{Si}-\text{O}$ и $-\text{C}=\text{O}$.

Вследствие меньшей электроотрицательности атома кремния по сравнению с углеродом избыточный отрицательный заряд на атоме кислорода в молекуле полисилоксана оказывается больше, чем аналогичный заряд на атоме кислорода группы $-\text{C}=\text{O}$ в капроне. Благодаря этому водородная связь между группами $-\text{NH}$ капрона и атомом кислорода силоксана оказывается энергетически более выгодной, чем связь между группами $-\text{NH}$ и $-\text{C}=\text{O}$ двух соседних молекул капрона.

По формуле Пиментала – Седерхальма [9]

$$\Delta v = 0,548 \cdot 10^3 (3,21 - R),$$

где Δv — смещение полосы поглощения, см^{-1} ;

R — расстояние между водородом в $-\text{NH}$ -группах и атомом кислорода в молекуле полисилоксана, \AA ,

было вычислено значение R в капроновых материалах с силоксановым покрытием [9]. Среднее расстояние (в ангстремах) между атомом водорода $-\text{NH}$ -групп капрона и атомом кислорода отверженного жидкого силоксанового каучука оказалось равным $3,2\text{ \AA}$.

Таблица 3. Волновые числа полос поглощения в ИК-спектрах капроновой ткани арт. 56011 с покрытием на основе жидкого каучука СКТН-А, подвергшейся воздействию пламени

Волновые числа, см^{-1} , при длительности экспозиции, с						
0	3	5	10	15	20	25
3640	3640	3640	—	—	—	—
3510	3500	3500	—	—	—	—
3420	3420	3420	3420	3416	3413	3410
3295	3295	3295	3295	3290	3285	3280
2980	2980	2980	2980	2975	2970	2965
—	—	—	—	—	1740	1740
1641	1641	1641	1641	1640	1640	1640
1533	1533	1533	1533	1530	1525	1520
1464	1464	1464	1464	1464	1460	1450
1261	1261	1261	1261	1261	1250	1245
1202	1202	1202	1202	1202	1200	1195
1124	1124	1124	1124	1120	1115	1110
864	864	864	864	864	860	855
908	908	908	—	—	—	—
800	800	800	800	800	800	877
531	531	531	531	531	530	528
—	—	—	—	—	453	453

Таблица 4. Волновые числа полос поглощения в ИК-спектрах капроновой ткани арт. 56011 с покрытием на основе жидкого каучука 3605 фирмы “Dow Corning”, подвергшейся воздействию пламени

Волновые числа, см^{-1} , при длительности экспозиции, с						
0	3	5	10	15	20	25
3420	3420	3420	3420	3420	3420	3417
3295	3295	3295	3295	3295	3295	3292
2980	2980	2980	2980	2980	2980	2975
—	—	—	—	—	—	1740
1641	1641	1641	1641	1641	1641	1635
1533	1533	1533	1533	1530	1525	1520
1464	1464	1464	1464	1464	1464	1460
1261	1261	1261	1261	1261	1258	1255
1202	1202	1202	1202	1202	1202	1200
1124	1124	1124	1124	1124	1122	1120
801	801	801	801	801	801	878
531	531	531	531	531	530	528
—	—	—	—	—	—	453

Изучены изменения инфракрасных спектров капроновой ткани арт. 56011 с покрытием на основе отверженных жидких силоксановых каучуков СКТН-А и 3605 фирмы “Dow Corning”. Значения волн

новых чисел полос поглощения капроновой ткани с отверженными покрытиями на основе жидких каучуков, подвергшихся воздействию пламени, представлены в табл. 3 и 4.

Из табл. 3 видно, что после 5 с экспозиции в пламени исчезают полосы поглощения в области 3640; 3500 и 908 см^{-1} , что указывает на исчезновение в покрытиях материала закапсулированного этилового спирта и силиконовых групп $-\text{Si}-\text{OH}$. При экспозиции в пламени в течение 15 с и более наблюдается снижение интенсивности полос поглощения и их смещение в сторону более низких волновых чисел. При экспозиции в пламени в течение 20 с и более появляется полоса поглощения в области 453 см^{-1} , что указывает на изменение характера скелетных молекулярных колебаний силиконовых покрытий.

На капроновой ткани с покрытием на основе отверженного жидкого силиконового каучука 3605 фирмы “Dow Corning” изменения под действием пламени менее заметны (см. табл. 4). Интенсивность полос поглощения и их смещение в сторону низких волновых чисел наблюдаются только через 25 с экспозиции в пламени. При этом появляется полоса поглощения при 453 см^{-1} .

Следует отметить, что при длительном воздействии пламени происходит уменьшение интенсивности полос поглощения, соответствующих капрон-

ну, что свидетельствует об изменении химической природы капрона и подтверждается литературными данными [2, 10, 11]. Термическое окисление полиамида-6 (капрона) приводит к ослаблению Амидной полосы I, Амидной полосы II, $-\text{NH}-$ полосы и появлению полосы поглощения карбонильных групп при 1740 см^{-1} в результате образования гидроперекисных и простых эфирных связей, а также сшитых структур. Деструкция макромолекул капрона идет по связям C–C и C–N, находящимся в β -положении к карбонильной группе.

Таким образом, капроновые ткани с покрытием на основе жидкого силиконового каучука 3605 фирмы “Dow Corning”, отверженные методом полипри соединения, менее пожароопасны, чем ткани с покрытием на основе жидкого силиконового каучука СКТН-А, отверженного методом поликонденсации. При длительном воздействии пламени силиконовые покрытия разлагаются до диоксида кремния, который не разрушается в пламени и образует на поверхности материала термостойкую коксовую корку, препятствующую подводу тепла к зоне пиролиза.

Работа выполнена при поддержке гранта Российской фонда фундаментальных исследований № 09-03-97504 р_центр_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева С. В., Осипов А. Е., Хелевина О. Г. Материалы пониженной пожарной опасности на основе отверженных жидких силиконовых каучуков // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 25–30.
2. Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. — М. : Химия, 1976. — С. 315–338.
3. Андрианов К. А. Методы элементоорганической химии. Кремний. — М. : Наука, 1968. — С. 645–655.
4. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. — М. : Мир, 1965. — С. 36–41.
5. Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т. Спектрофотометрическая идентификация органических соединений. — М. : Мир, 1977. — С. 125–276.
6. Крешков А. П., Борн В. А., Мышилева Л. В., Нессонова Г. Д. Анализ кремнийорганических соединений. — М. : Госхимиздат, 1954. — С. 87–95.
7. Воронков М. Г., Милешкевич В. П., Южелевский Ю. А. Силиконовая связь. — Новосибирск : Наука, 1976. — 413 с.
8. Шетц М. Силиконовый каучук. — М. : Химия, 1975. — 192 с.
9. Pimentel G. C., Sederholm C. H. Correlation of Infrared Stretching Frequencies and Hydrogen Bond Distances in Crystals // J. Chem. Phys. — 1956. — Vol. 24, No. 4. — P. 639–641.
10. Которленко Л. А., Гарденина А. П., Олейник В. Г. Исследование термической деструкции полиамида-6 методом инфракрасной спектроскопии // Украинский химический журнал. — 1964. — Т. 30, № 3. — С. 370–376.
11. Капустина А. А., Шапкин Н. П., Баданова Н. А. Изучение взаимодействия хлорида кобальта с полифенилсиликоном // Изв. вузов: Химия и хим. технология. — 2011. — Т. 54, вып. 1. — С. 61–65.

*Материал поступил в редакцию 22 марта 2011 г.
Электронный адрес авторов: Timofeeva1363@yandex.ru.*



В. М. Ройтман

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

УДК 614.841

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ И ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА УСЛОВИЙ РАБОТЫ И КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОГРЕВА МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Приведены результаты анализа физического смысла и содержания понятия "коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре", лежащего в основе теории расчета огнестойкости строительных конструкций. Показано, что оценка изменения сопротивления материалов строительных конструкций при воздействии пожара может проводиться с помощью двух равноценных показателей — коэффициента условий работы материала в условиях пожара и критической температуры прогрева материала в условиях пожара. Обращается внимание на то, что применение того или иного из этих двух равноценных показателей предполагает использование различных схем расчета конструкций на огнестойкость. Рассмотрены особенности оценки значений коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре и критической температуре прогрева объектов при пожаре при комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара на строительные конструкции. Даны рекомендации по учету этих особенностей при расчетах стойкости зданий и сооружений при СНЕ с участием пожара.

Ключевые слова: огнестойкость; расчет; конструкция; материал; коэффициент условий работы материала при пожаре; критическая температура прогрева материала при пожаре.

Введение

В теории расчета строительных конструкций по предельным состояниям особенности работы строительных материалов в конструкциях учитываются с помощью различных коэффициентов условий работы [1, 2]. Эти коэффициенты должны обеспечить прочность, устойчивость, трещиностойкость конструкций на всех стадиях их существования, в том числе в условиях особых воздействий.

При расчетах строительных конструкций на огнестойкость (на способность сопротивляться воздействию пожара) также используется этот показатель, получивший название "коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре" [3–10].

Кроме того, в ряде случаев для расчета конструкций на огнестойкость используется еще один, связанный с первым, показатель — критическая температура прогрева материала при пожаре [3–10].

Однако, несмотря на то что понятия "коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре" и "критическая температура прогрева объектов при пожаре" у всех "на слуху", отсутствуют их точные определения и, более того, дается неадекватное, неоднозначное и не всегда корректное тол-

кование этих понятий при решении задач обеспечения огнестойкости различных объектов. Все это в ряде случаев приводит к путанице терминов, неправильному пониманию и использованию их специалистами и, как следствие, к недоразумениям.

В связи с этим возникает необходимость вернуться к рассмотрению вопроса об упорядочении, о придании логической стройности, точности существующей и развивающейся системе понятий и терминологических систем в области теории стойкости строительных конструкций при ЧС с участием пожара.

Важность решения этого вопроса определяется тем, что именно эти системы понятий должны способствовать передаче и адекватному восприятию информации, сосредоточенной в нормативно-технической и методической литературе.

Целью данной работы является анализ физического смысла и содержания понятий "коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре" и "критическая температура прогрева объектов при пожаре", лежащих в основе теории расчета стойкости строительных конструкций при ЧС с участием пожара.

Общие подходы к оценке сопротивления конструкций в условиях воздействия пожара

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

В отечественных нормах [11] показатель, характеризующий способность строительных конструкций сопротивляться воздействию пожара, называется пределом огнестойкости, а показатель, характеризующий способность здания в целом сопротивляться воздействию пожара, — степенью огнестойкости.

С помощью этих показателей в нормах регламентируется время, в течение которого конструкции, здания и сооружения должны сопротивляться высокотемпературному воздействию пожара.

Необходимость решения комплекса научных и инженерных задач по оценке огнестойкости зданий и сооружений стала стимулом развития международных исследований, результаты которых складываются в теорию огнестойкости [3–10].

Расчеты строительных конструкций на огнестойкость являются одной из разновидностей расчета конструкций по предельным состояниям. Сущность расчета конструкций на огнестойкость заключается в определении момента времени τ , по истечении которого в условиях воздействия пожара конструкции утрачивают свою несущую или теплоизолирующую способность.

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

Огнестойкость конструкции в этом случае определяется из следующего условия:

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

где N_h , M_h — соответственно продольная сила или изгибающий момент от нормативной рабочей нагрузки;

$T(\tau)$ — температура прогрева конструкции в различные моменты времени τ воздействия пожара.

Быстрое снижение несущей способности строительных конструкций в условиях пожара $\Phi[T(\tau)]$ происходит за счет быстрого по сравнению с обыч-

ными условиями эксплуатации уменьшения сопротивления материалов конструкций в результате их прогрева при пожаре.

Особенности такого поведения материалов конструкций при их прогреве в условиях пожара при проведении расчетов конструкций на огнестойкость учитываются путем введения дополнительного коэффициента, который получил название “коэффициент условий работы материала конструкции при пожаре” γ_T [3–10].

Обычно [3–10] коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре γ_T представляет собой зависимость между сопротивлением материалов R_T и температурой их прогрева T .

В относительном виде эта зависимость представляется как:

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

где R_T — предел прочности материала при температуре T ;

R — начальная прочность материала.

Зависимости типа (2) были получены для всех основных строительных материалов в результате многолетних специальных экспериментальных исследований [3–10]. Эти исследования свидетельствуют о том, что сопротивление обычных материалов строительных конструкций при прогреве в условиях пожара после определенной температуры нагрева начинает быстро снижаться (рис. 1).

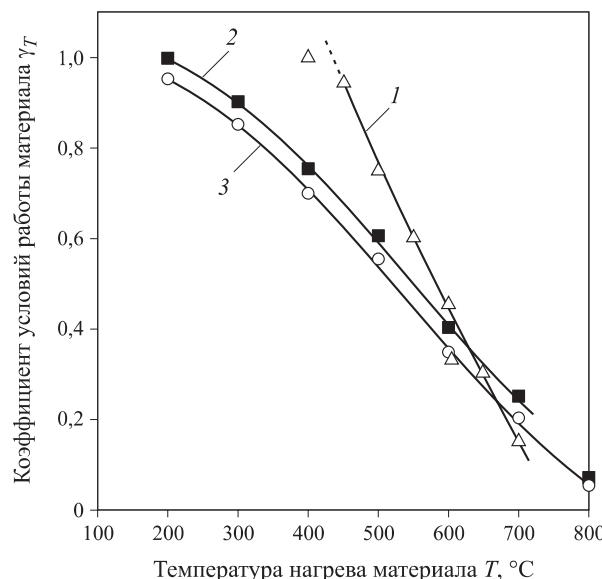


Рис. 1. Изменение значений коэффициента условий работы при пожаре различных материалов строительных конструкций в зависимости от температуры нагрева (обработка данных [12]): 1 — стержневая арматура А-III; 2 — тяжелый бетон с крупным заполнителем из карбонатных пород; 3 — тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород

В настоящее время зависимости (2) в графическом (см. рис. 1) или табличном (табл. 1 и 2) виде используются в качестве справочных данных при расчетах строительных конструкций на огнестойкость [5–10].

Значения коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре γ_T в относительном виде (2) будут изменяться от $\gamma_T = 1,0$ при начальной температуре 20 °C (когда $R_T = R$) до $\gamma_T = 0$ — при температуре, когда материал полностью утрачивает свое сопротивление ($R_T = 0$) (см. рис. 1).

Огнестойкость строительных конструкций в ряде случаев удобно оценивать с помощью критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара T_{kp} .

Критическая температура прогрева материалов конструкций, наряду с коэффициентом условий работы материала при пожаре, является одним из ключевых показателей, используемых для расчета строительных конструкций на огнестойкость [3–9]. При использовании этого показателя расчет строительных конструкций на огнестойкость также включает в себя решение двух задач:

1). *Прочностная (статическая) задача огнестойкости:* определение нормативной рабочей нагрузки на рассматриваемую конструкцию; соответствующих этой нагрузке значений уровня нагружения материалов конструкции и далее, в зависимости от

уровня нагружения, значений критической температуры их нагрева при пожаре.

2). *Теплофизическая задача огнестойкости:* определение момента времени воздействия пожара на строительную конструкцию, при котором материал ключевых элементов конструкций прогревается до “критической температуры”.

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

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

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

где $T_s(\tau)$ — температура прогрева рабочей арматуры растянутой зоны изгибающегося железобетонного элемента в момент времени τ развития пожара; T_s^{kp} — критическая температура прогрева рабочей арматуры растянутой зоны конструкции; $\Pi_\phi(R)$ — значение предела огнестойкости конструкции по потере несущей способности.

Особенностью классической теории огнестойкости строительных конструкций является то, что

Таблица 1. Коэффициент условий работы бетона при пожаре γ_{bT} [3–9]

Бетон	Средняя плотность бетона ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент условий работы бетона γ_{bT} при температуре бетона, °C								
		20	100	200	300	400	500	600	700	800
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород	2350	1,0	0,85	0,95	0,85	0,70	0,55	0,35	0,20	0,05
То же, из карбонатных пород	2350	1,0	0,90	1,00	0,90	0,75	0,60	0,40	0,25	0,06

Таблица 2. Коэффициент условий работы стержневой арматуры при пожаре γ_{sT} [3–9]

Класс стержневой арматуры	Коэффициент условий работы стержневой арматуры γ_{sT} при температуре арматуры, °C									
	≤ 350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
A-I	1,0	1,0	0,80	0,65	0,50	0,35	0,23	0,15	0,05	0
A-II	1,0	1,0	0,90	0,70	0,50	0,35	0,23	0,15	0,05	0
A-II _в	1,0	1,0	0,80	0,60	0,40	0,25	0,10	0,05	0,03	0
A-III	1,0	1,0	0,95	0,75	0,60	0,45	0,30	0,15	0,10	0,05
A-III _в	1,0	1,0	0,90	0,65	0,45	0,35	0,20	0,10	0,05	0
A-IV	1,0	0,95	0,80	0,65	0,50	0,35	0,20	0,10	0,05	0
A-V	1,0	0,95	0,80	0,60	0,40	0,25	0,10	0,05	0,03	0
At-IV At-V	1,0	0,90	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,03	0
At-VI At-VII	1,0	0,80	0,55	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,03	0

значение критической температуры нагрева материала конструкции при расчетах пределов огнестойкости конструкций имеет фиксированное значение, соответствующее расчетному уровню нормативной рабочей нагрузки на эту конструкцию.

Физический смысл коэффициента условий работы материалов при пожаре и критической температуре прогрева материалов строительных конструкций при пожаре

Физический смысл коэффициента условий работы материалов строительных конструкций в условиях пожара следует непосредственно из методики экспериментального определения этого показателя.

Известно несколько подходов к определению изменения прочности материалов строительных конструкций при высокотемпературном нагреве, отличающихся различными схемами приложения термической и механической нагрузок, геометрией испытуемых образцов [3–9].

Более всего реальной работе материала конструкции при воздействии пожара соответствует методика исследований поведения материалов в этих условиях, разработанная во ВНИИПО [8].

Согласно этой методике [8] образцы испытуемого материала предварительно подвергаются заданному уровню нагружения от механической нагрузки. Затем производится нагрев образца по режиму, соответствующему воздействию стандартного пожара, с учетом толщины материала. Во время проведения опытов по этой методике фиксировались температура прогрева и деформации нагруженных образцов. Каждый опыт продолжался до разрушения образца. В результате испытания серии образцов при различных уровнях нагружения, но при одном и том же режиме нагрева получался ряд значений температур, при которых достигалось предельное состояние образца.

Таким образом, в этом методе была реализована схема, в наибольшей степени соответствующая реальным условиям воздействия пожара: строительная конструкция находится под действием рабочей нагрузки, составляющей определенную долю от разрушающей нагрузки, и в момент возникновения пожара начинает развиваться высокотемпературное воздействие по определенному режиму.

Обработка результатов такого рода испытаний образцов материалов включала следующие процедуры [8].

Уровень нагружения образцов выражался в виде коэффициента γ :

$$\gamma = S/S_{\text{разр}}, \quad (4)$$

где S — нагрузка на образец;

$S_{\text{разр}}$ — разрушающая нагрузка.

Выражение (4) представлялось в виде:

$$\gamma = \sigma/R, \quad (5)$$

где σ — напряжение в образце материала; $\sigma = S/F$; F — площадь поперечного сечения образца; R — сопротивление материала образца при обычной температуре (20°C).

Принималось, что если при нагреве образца материала, нагруженного до напряжения σ (в относительном виде $\gamma = \sigma/R$), при температуре T было достигнуто предельное состояние образца, то фактически это означает, что напряжение в образце σ при температуре прогрева T приобретает смысл “сопротивления R_T материала испытуемого образца при температуре T ”, т. е. $R_T(T)$.

По результатам испытаний серии образцов ($n = 1, 2, 3, \dots$ — число испытанных образцов) при одном и том же режиме нагрева, но при различных уровнях нагружения $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ получали ряд значений $R_{T_1}, R_{T_2}, R_{T_3}, \dots$, соответствующих определенной температуре прогрева T_1, T_2, T_3, \dots , при которой достигалось предельное состояние образца $R_{T_1}(T_1), R_{T_2}(T_2), R_{T_3}(T_3), \dots, R_{T_n}(T_n)$ или в относительном виде — $R_{T_1}(T_1)/R, R_{T_2}(T_2)/R, R_{T_3}(T_3)/R, \dots, R_{T_n}(T_n)/R$.

Далее строился график изменения относительного сопротивления материала R_T/R в зависимости от температуры T его нагрева (см. рис. 1):

$$R_T/R = f(T),$$

где показатель R_T/R в соответствии с (2) назывался коэффициентом условий работы материала при пожаре, т. е.

$$\gamma_T = R_T/R = f(T).$$

Полученные функциональные зависимости $\gamma_T = R_T/R = f(T)$ для различных строительных материалов используются в настоящее время в качестве справочных материалов для последующего использования в расчетах строительных конструкций на огнестойкость [3–10].

Исходя из рассмотренного физического смысла коэффициента условий работы материала при пожаре, можно сформулировать определение этого понятия следующим образом: *коэффициент условий работы материала при пожаре γ_T характеризует относительное уменьшение сопротивления материала R_T/R в зависимости от температуры его прогрева T при пожаре*.

Анализ методики определения коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре позволяет выявить особенности физического смысла этого показателя.

Во-первых, необходимо отметить двоякий смысл этого показателя: с одной стороны, коэффициент γ характеризует уровень нагружения материала механической нагрузкой ($\gamma = \sigma/R$), а с другой — этот

же показатель используется в качестве коэффициента условий работы материала при пожаре ($\gamma_T = R_T/R$).

Причина возникновения двоякого смысла коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре можно объяснить, если обратить внимание на температуру, при которой достигается предельное состояние нагруженного образца материала во время его прогрева.

Фактически температура T , при которой достигается предельное состояние нагруженного образца материала во время его прогрева, является критической температурой прогрева материала T_{kp} при заданном уровне его нагружения: $\gamma = \sigma/R$.

Как показывают результаты многочисленных испытаний, для каждого типа образцов критическая температура прогрева материала T_{kp} в условиях стандартного режима прогрева однозначно определяется уровнем нагружения образца материала, который в соответствии с (5) выражается в виде $\gamma = \sigma/R$.

Тогда по результатам испытаний серии образцов (n — число испытанных образцов) при одном и том же режиме нагрева, но при различных уровнях нагружения γ можно получить ряд значений температур, при которых достигалось предельное состояние образца $T_{kp_1}, T_{kp_2}, T_{kp_3}, \dots$, соответствующих различным уровням нагружения образца: $\gamma_1 = \sigma_1/R, \gamma_2 = \sigma_2/R, \gamma_3 = \sigma_3/R, \dots, \gamma_n = \sigma_n/R$ (табл. 3 и 4).

Соответственно, по данным табл. 3 и 4 можно построить графики функциональной зависимости критической температуры прогрева материала T_{kp} при пожаре от уровня его нагружения γ , т. е. $T_{kp} = f(\gamma)$ (рис. 2).

С учетом вышеизложенного можно сделать важный вывод о том, что критическая температура прогрева материала при пожаре T_{kp} относится именно к строительным материалам. Это позволяет сформулировать следующее определение понятия критической температуры прогрева материала при пожаре: *критическая температура прогрева материала при пожаре T_{kp} — такая температура прогрева ма-*

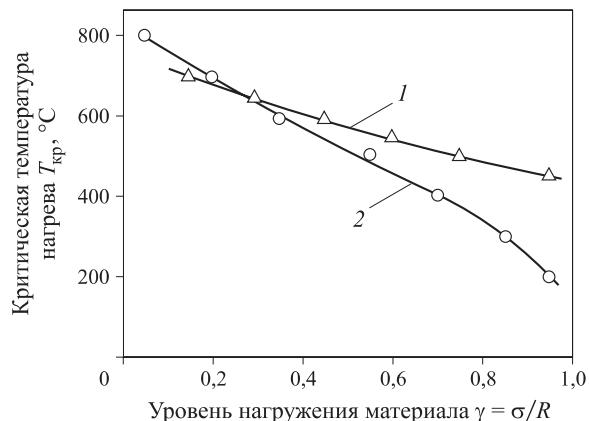


Рис. 2. Изменение критической температуры нагрева T_{kp} материалов строительных конструкций в зависимости от уровня нагружения $\gamma = \sigma/R$: I — сталь А-III; 2 — тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород

териала при пожаре, которая при заданном уровне нагружения материала приводит к наступлению его заданного предельного состояния.

Таким образом, оценка изменения сопротивления материалов строительных конструкций при воздействии пожара может производиться с помощью двух равноценных показателей в виде функциональных зависимостей:

- коэффициента условий работы материала в условиях пожара $\gamma_T = R_T/R$ от температуры нагрева T ;
- критической температуры прогрева материала в условиях пожара T_{kp} от уровня нагружения $\gamma = \sigma/R$.

Почему оба рассматриваемых показателя γ_T и T_{kp} названы в данной работе равноценными? Потому что их значения получают на основе обработки разными способами результатов одних и тех же испытаний. Разница только в том, какой из этих показателей принимается в качестве аргумента, а какой — в качестве функции.

Однако следует иметь в виду, что применение первого (γ_T) или второго (T_{kp}) из этих двух равноценных показателей предполагает различные схемы расчета строительной конструкции на огнестойкость.

Особенности расчета строительных конструкций на огнестойкость в зависимости от использования коэффициента условий работы материала при пожаре или критической температуры прогрева материала при пожаре

Схема расчета пределов огнестойкости конструкций по потере несущей способности при использовании коэффициента условий работы материала при пожаре

Данная схема включает следующие процедуры.

1. Решение теплофизической (теплотехнической) задачи огнестойкости. Определяются температуры

Таблица 3. Изменение критической температуры нагрева тяжелого бетона с крупным заполнителем из силикатных пород в зависимости от уровня нагружения $\gamma = \sigma/R$

γ	0,95	0,75	0,60	0,45	0,30	0,15	0,10
$T_{kp}, ^\circ\text{C}$	450	500	550	600	650	700	750

Таблица 4. Изменение критической температуры нагрева тяжелого бетона с крупным заполнителем из карбонатных пород в зависимости от уровня нагружения $\gamma = \sigma/R$

γ	0,95	0,85	0,70	0,55	0,35	0,20	0,05
$T_{kp}, ^\circ\text{C}$	200	300	400	500	600	700	800

прогрева материалов конструкции в различные моменты времени воздействия пожара.

2. Решение прочностной задачи огнестойкости. Зная температуры прогрева материалов конструкции в различные моменты времени воздействия пожара, по справочным данным (типа рис. 1 или табл. 1 и 2) находят значения коэффициента условий работы материалов при пожаре в соответствующие моменты времени воздействия пожара. После этого определяют сопротивление материалов прогреваемой конструкции и, соответственно, изменение несущей способности конструкции в рассматриваемые моменты времени воздействия пожара.

Момент времени воздействия пожара, когда несущая способность конструкции снизится до уровня рабочих нагрузок, и будет определять искомое значение предела огнестойкости конструкции по потере ее несущей способности.

Схема расчета пределов огнестойкости конструкций при использовании критической температуры прогрева материала при пожаре

Эту схему целесообразно применять для случаев, когда известен “ключевой” элемент конструкции, поведение которого при пожаре определяет наступление предела огнестойкости всей конструкции.

Таким образом, например, может быть расчет предела огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов (плит, балок, прогонов) и ряда металлических конструкций. Для этих типов конструкций можно принять, что их предел огнестойкости определяется прогревом “ключевого” элемента конструкции до критической температуры.

Тогда применяется следующая схема расчета конструкции на огнестойкость:

1. Решение прочностной (статической) задачи огнестойкости. Определяется уровень нагружения в “ключевом” элементе конструкции от рабочих нагрузок. В относительном виде это $\gamma = \sigma/R$.

2. По справочным данным, зная полученное значение $\gamma = \sigma/R$ и используя зависимости $T_{kp} = f(\gamma)$, находят критическую температуру прогрева при пожаре T_{kp} ключевого элемента конструкции.

3. Решение теплофизической задачи огнестойкости. Определяется температура прогрева ключевого элемента конструкции в различные моменты времени воздействия пожара $T(\tau)$.

4. Из условия (3) определяется предел огнестойкости конструкции по потере несущей способности, если $T(\tau) \geq T_{kp}$, то $\tau = \Pi_\Phi(R)$.

Смешанная схема расчета пределов огнестойкости конструкций

Такая схема применяется в случаях использования для расчета конструкции на огнестойкость обоих показателей: как коэффициента условий работы

материала конструкции при пожаре, так и критической температуры прогрева материалов при пожаре.

Например, при расчете предела огнестойкости железобетонных колонн допускается [6–10] при решении прочностной задачи огнестойкости для оценки изменения сопротивления сжатой рабочей арматуры применять коэффициент условий работы арматурной стали при пожаре, а для оценки сопротивления сжатого бетона — упрощенную аппроксимацию: $\gamma_{bt} = 0$ при $T = T_b^{kp}$.

Оценка значений коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре и критической температуры прогрева объектов при пожаре для комбинированных особых воздействий (СНЕ) с участием пожара

Характерной особенностью СНЕ с участием пожара на здания и сооружения является то, что на объектах в результате такого рода воздействий возникает несколько характерных групп строительных конструкций, которые имеют различную степень повреждения [12].

Более поврежденные конструкции будут терять несущую способность на ранних стадиях развития ЧС, и это будет приводить к перераспределению нагрузки на уцелевшие конструкции и, соответственно, к увеличению степени нагружения уцелевших, менее поврежденных конструкций, которые продолжают сопротивляться СНЕ с участием пожара.

В отличие от расчетов огнестойкости конструкций при оценках стойкости конструкций, зданий и сооружений при СНЕ с участием пожара [12] возникает необходимость в определении значений коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре или критической температуре прогрева объектов при пожаре в условиях изменяющегося уровня поврежденности и уровня нагружения этих конструкций.

Для учета этих особенностей СНЕ с участием пожара была разработана специальная методика обработки известных справочных данных о поведении материалов строительных конструкций в условиях пожара [6–10], которая позволила получить необходимые справочные данные для решения задач по оценке стойкости конструкций и зданий при СНЕ с участием пожара.

Например, для тяжелого бетона эти справочные данные предлагается представлять в виде зависимости между уменьшением критической температуры нагрева ΔT_b^{kp} этого бетона и увеличением уровня его нагружения $\Delta\gamma_b = \Delta\sigma_b/R_b$ (рис. 3). Для арматурной стали класса А-III полученная зависимость между уменьшением ее критической температуры нагрева ΔT_s^{kp} и увеличением уровня нагружения $\Delta\gamma_s = \Delta\sigma_s/R_s$ представлена на рис. 4.

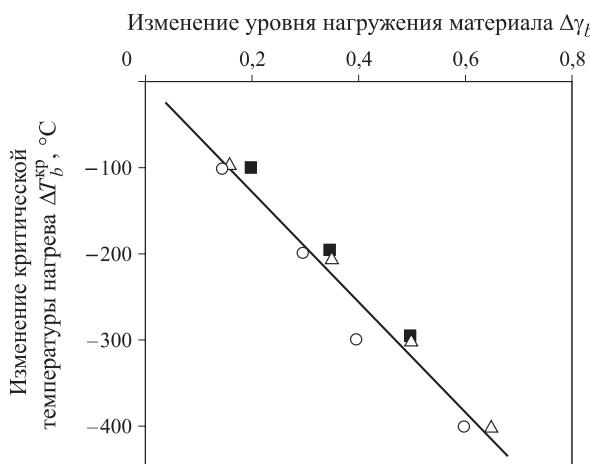


Рис. 3. Снижение критической температуры нагрева ΔT_b^{kp} тяжелого бетона (на гранитном заполнителе) в зависимости от увеличения уровня нагружения $\Delta\gamma_b = \Delta\sigma_b/R_b$

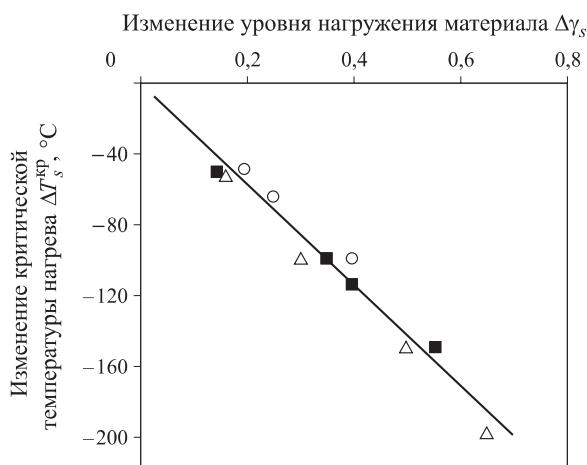


Рис. 4. Снижение критической температуры нагрева ΔT_s^{kp} арматурной стали класса А-III в зависимости от увеличения уровня ее нагружения $\Delta\gamma_s = \Delta\sigma_s/R_s$

Анализ полученных данных

Рассмотрение графиков (см. рис. 3 и 4) позволяет сделать вывод о том, что с точностью, достаточной для инженерных расчетов, эти графики ΔT_s^{kp} ($\Delta\gamma_s = \Delta\sigma_s/R_s$) и ΔT_b^{kp} ($\Delta\gamma_b = \Delta\sigma_b/R_b$) представляют собой функциональные зависимости между пропорциональными величинами, которые практически не зависят от начального уровня нагружения материала.

Для инженерных расчетов стойкости железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара можно использовать следующие эмпирические зависимости, полученные из графиков рис. 3 и 4:

- для тяжелого бетона:

$$\Delta\gamma_b = -0,00154\Delta T_b; \quad (6)$$

$$\Delta T_b^{\text{kp}} = -650\Delta\gamma_b; \quad (7)$$

- для арматурной стали класса А-III:

$$\Delta\gamma_s = -0,00347\Delta T_s; \quad (8)$$

$$\Delta T_s^{\text{kp}} = -288\Delta\gamma_s. \quad (9)$$

Заключение

1. Несмотря на то что понятия “коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре” и “критическая температура прогрева объектов при пожаре” у всех “на слуху”, отсутствуют точные определения этих понятий. Это часто приводит к путанице понятий, неправильному их пониманию и использованию специалистами и, как следствие, к недоразумениям.

2. Показан двоякий смысл показателя “коэффициент условий работы материалов конструкций при пожаре”. С одной стороны, коэффициент γ характеризует уровень нагружения материала механической нагрузкой ($\gamma = \sigma/R$), а с другой — этот же показатель является коэффициентом условий работы материала при пожаре ($\gamma_T = R_T/R$).

3. Анализ физического смысла и содержания понятий “коэффициент условий работы материала при пожаре” γ_T и “критическая температура прогрева объектов при пожаре” T_{kp} позволил сформулировать уточненные определения этих понятий.

4. Оценка изменения сопротивления материалов строительных конструкций при воздействии пожара может производиться с помощью двух равноценных показателей в виде зависимостей:

- коэффициента условий работы материала в условиях пожара ($\gamma_T = R_T/R$) от температуры нагрева T ;
- критической температуры прогрева материала в условиях пожара T_{kp} от уровня нагружения $\gamma = \sigma/R$.

Однако следует иметь в виду, что применение одного или другого из этих равноценных показателей предполагает использование различных схем расчета конструкций на огнестойкость.

5. Рассмотрены и даны рекомендации по применению различных схем решения прочностной задачи огнестойкости в зависимости от используемых показателей поведения материалов конструкций в условиях пожара.

6. Проведен анализ особенностей изменения значений коэффициента условий работы материалов конструкций при пожаре и критической температуры прогрева объектов при пожаре при комбинированных особых воздействиях (СНЕ) с участием пожара на строительные конструкции. Даны рекомендации по учету этих особенностей при расчетах стойкости зданий и сооружений при СНЕ с участием пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций : утв. приказом ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко от 10.09.2004 № 28/00 : введ. в действие 01.01.2005. — М. : ФГУП ЦПП, 2004.
2. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения : утв. постановлением Госстроя РФ от 30.06.2003 № 127 : введ. в действие 01.03.2004. — М. : ГП ЦПП, 2004.
3. Бушев В. П., Пчелинцев В. А., Федоренко В. С., Яковлев А. И. Огнестойкость зданий. — М. : Стройиздат, 1970.
4. Бать А. А., Сегалов А. Е. Нагрузки для расчета и испытания несущих строительных конструкций на огнестойкость // Строительная механика и расчет сооружений. — 1981. — № 4.
5. Бартелеми Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1985.
6. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. — М. : Стройиздат, 1986.
7. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций. — М. : НИИЖБ, Стройиздат, 1986.
8. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1988.
9. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 381 с.
10. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций : утв. приказом ФГУП "НИЦ "Строительство" от 20.12.2006 № 156 : введ. в действие 01.11.2006. — М. : ФГУП "НИЦ "Строительство", 2006.
11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 04.07. 2008 : одобр. Советом Федерации 11.07.2008 // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2008. — № 30 (часть I). — Ст. 3579.
12. Теличенко В. И., Ройтман В. М. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара — базовый элемент системы комплексной безопасности. — Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации (19 мая 2010 г.) / Матер. 1-го Национального конгресса "Комплексная безопасность в строительстве 2010", 18–21 мая 2010 г., Москва, ВВЦ : сб. науч. тр. Вып. 9. — М., 2010. — С. 15–29.

*Материал поступил в редакцию 11 января 2011 г.
Электронный адрес автора: roytman-msuse@yandex.ru.*



И. В. Костерин

начальник отделения организации научных исследований экспертно-консалтингового отдела Ивановского института ГПС МЧС РФ, г. Иваново, альянс ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, г. Балашиха, Россия

УДК 614.841.334

СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА “AUTODESK 3DS MAX” С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Дан обзор применения графической программной системы “Autodesk 3DS Max” для построения трехмерных моделей многофункциональных зданий с целью моделирования возможных чрезвычайных ситуаций и контроля за состоянием систем их противопожарной защиты.

Ключевые слова: трехмерная модель; визуализация; пожарная опасность; многофункциональное здание.

Электронные 3D-модели могут быть использованы в различных системах мониторинга объектов (зданий, строений). Основная ценность подобных моделей заключается в создании полного визуально-пространственного представления об объектах. Подобные подходы ведут к переходу на новый, современный уровень принятия управленческих и административных решений. Согласно [1] предполагается реализовать качественно новый подход к картографическому обеспечению, основанному на современных цифровых технологиях.

В настоящее время подразделениями МЧС России разрабатываются трехмерные модели для следующих видов объектов:

- территории размещения административно-территориальных единиц (субъекты РФ, муниципальные образования, населенные пункты);
- населенные пункты (города, городские поселки, сельские населенные пункты);
- объекты жизнеобеспечения, потенциально опасные, критически важные для национальной безопасности.

Кроме того, 3D-модели создаются на объекты социального назначения, здравоохранения, спорта, культуры, науки, образования, административные и другие учреждения с массовым пребыванием людей, где имеется вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, к которым, в частности, относятся многофункциональные общественные здания (далее — МОЗ).

Строительство МОЗ в настоящее время активно ведется как в России, так и за рубежом. Отличительными особенностями МОЗ является масштабность и особый микроклимат.

Можно с уверенностью утверждать, что с развитием строительных технологий, совершенствованием форм торговли, ростом населения крупных городов, социальными и техническими достижениями проектирование МОЗ, особенно в составе крупных общественных центров, будет расширяться.

Трехмерная модель здания должна включать [2]:

- ситуационную площадную объектовую модель;
- общую модель объекта и прилегающей территории;
- поэтажную (уровневую) модель;
- подъездные пути к объекту;
- все здания и сооружения на территории объекта;
- технологическое оборудование (отдельно для каждого вида).

Кроме того, должны быть сформированы слои (с возможностью включения/отключения) для всех структурных элементов объекта и представлена модель наиболее опасного сценария развития ЧС на объекте с возможностью включения/отключения слоев.

Например, согласно [3] в состав требований к созданной 3D-модели объекта входят:

- внешний вид объекта с прилегающей территорией местности или населенного пункта (дороги, газон, ограждения, защитные сооружения);



Модель многофункционального торгового комплекса: *а* — вид снаружи; *б* — вид изнутри

- внешний вид зданий и сооружений (несущие конструкции, двери, окна, лестницы, технологическое и противопожарное оборудование, инженерные сети и коммуникации);
- поэтажные планы со схемой эвакуации, схемой размещения основного технологического и противопожарного оборудования;
- схема инженерных сетей и коммуникаций, в том числе проложенных под землей, с указанием на коммуникациях мест расположения управляющего оборудования (задвижки, вентили и т. д.);
- зоны возможных разрушений с указанием технологического оборудования, зданий и сооружений; пролива нефти и нефтепродуктов; теплового излучения; химического заражения (внутри здания, на прилегающей территории объекта, в жилой застройке); возможного затопления (при аварии на гидротехническом сооружении);

- возможные зоны поражения от вторичных факторов (например, при разливе легковоспламеняющихся жидкостей (нефтепродуктов) — зоны розлива, возможного взрыва, пожара пролива);
- места размещения сил и средств для ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) и аварий;
- демонстрационный видеоролик со звуковыми комментариями.

До недавнего времени использовали информацию об объекте, полученную из чертежей на плоскости, что не давало возможности рассмотреть все важные детали реального объекта при возникновении ЧС. Создание интерактивных моделей объектов дает возможность в дальнейшем более четко прогнозировать и проводить диагностику внешних рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. Построение 3D-модели дает возможность:

- моделировать перемещение людей или группы людей по виртуальному зданию в условиях чрезвычайной ситуации;
- планировать расположение сил и средств при проведении возможных аварийно-спасательных работ на реальной местности;
- осуществлять обзор оперативной емкости территории;
- вести мониторинг состояния объектов;
- учитывать размещение объектов относительно друг друга.

На практике при создании 3D-моделей подразделениям МЧС России приходится привлекать сторонние организации либо самих собственников объектов. Что же касается программной оболочки, используемой для создания моделей, то в большинстве случаев используется Autodesk 3DS Max, а также ArchiCad и ArcGis.

На рисунке представлена модель многофункционального торгового комплекса [4], созданная с помощью Autodesk 3DS Max.

Выводы

Несомненно, практика построения 3D-моделей многофункциональных торговых комплексов имеет большое значение для повышения оперативной готовности к ликвидации возможных ЧС на данных объектах, для компьютерного моделирования развития ЧС, эвакуации людей, материальных ценностей с целью выработки необходимого алгоритма действий в сложной обстановке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации : распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 августа 2006 г. № 1157-р // Эксперт-приложение, 23.07.2008.

2. Греднев А. В., Плотников В. Ю., Захарова Г. Б. Интерактивная визуализация крупномасштабных урбанистических объектов в реальном времени // Архитектон. — 2010. — № 30.
3. Требования к разработке 3D-моделей потенциально опасных объектов Республики Башкортостан. URL : http://02.mchs.gov.ru/public_info.
4. URL : <http://www.turbosquid.com/3d-models/shopping-center-3d-model/580997>.

Материал поступил в редакцию 2 марта 2011 г.
Электронный адрес автора: kosteriniv@gmail.com.

ПОЖИГАУКА

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

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



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

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

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

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

www.firepress.ru

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

**С. Г. Котов**

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

**О. Д. Навроцкий**

старший научный сотрудник НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

**Д. С. Котов**

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

УДК 614.842.615

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕЙ И ИЗОЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАСТВОРОВ ФТОРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Описаны лабораторные методы исследования, позволяющие, используя небольшие количества поверхностно-активных веществ (ПАВ), сделать вывод о целесообразности их применения в составе пенообразователя целевого назначения для тушения пожаров. Приведены результаты исследования поверхностного и межфазного натяжения водных растворов фторированных ПАВ, поставляемых в Республику Беларусь, а также водных растворов, содержащих одновременно фторированное и углеводородное ПАВ. Представлены результаты исследования с помощью оригинального лабораторного метода пленкообразующей и изолирующей способности водных растворов, содержащих одновременно фторированное и углеводородное ПАВ. Обоснован выбор основы пенообразователя целевого назначения, позволяющей получать изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана.

Ключевые слова: пенообразователь целевого назначения для тушения пожаров; поверхностно-активное вещество (ПАВ); фторированное и углеводородное ПАВ; поверхностное и межфазное натяжение; пленкообразующая и изолирующая способность.

В конце 90-х годов прошлого века в Республике Беларусь была поставлена задача организовать производство отечественных пенообразователей для тушения пожаров целевого назначения. Исходя из потребностей республики ставка была сделана на разработку малотоннажной технологии производства из фторированных ПАВ, уже выпускаемых промышленностью.

Несмотря на то что на момент начала исследования пенообразователи целевого назначения в Республике Беларусь не производились, действовал нормативный документ, устанавливающий требования к ним и методы их испытаний, — СТБ ГОСТ Р 50588–99 [1], который являлся полным аналогом ГОСТ 50588–93 [2].

Определение свойств методами, изложенными в этих нормативных документах, требует большого объема пенообразователей и оправдано только на этапе постановки пенообразователя на производство и его сертификации. При разработке пенообразователя на основе фторированных ПАВ необходимо иметь лабораторные методы, позволяющие при исполь-

зовании небольших количеств пенообразователя сделать вывод о перспективности или неперспективности применения конкретного пленкообразующего раствора для пожаротушения.

Как известно [3], важнейшим условием эффективности пленкообразования является положительное значение коэффициента растекания $S_{w/0}$ водных растворов по поверхности горючих жидкостей:

$$S_{w/0} = \sigma_0 - \sigma_w - \sigma_{w0} > 0 \quad (1)$$

или

$$\sigma_w + \sigma_{w0} < \sigma_0, \quad (2)$$

где σ_w — поверхностное натяжение раствора, Н/м;

σ_{w0} — межфазное натяжение, Н/м;

σ_0 — поверхностное натяжение жидкости, Н/м.

Таким образом, основным условием пленкообразования является достижение положительного значения коэффициента растекания по поверхности горючих жидкостей водных растворов ПАВ.

В целях определения коэффициента растекания по поверхности горючих жидкостей водных растворов ПАВ определялось их поверхностное натяжение

и межфазное натяжение между *n*-гептаном и раствором ПАВ. Определение этих показателей осуществлялось с помощью торсионных весов, оснащенных медным кольцом массой 100 мг и диаметром 10 мм из проволоки толщиной 500 мкм.

Для качественного микроанализа пленкообразующей и изолирующей способности пенообразующих растворов на основе фторированных ПАВ использовались следующие оборудование и материалы: металлический противень диаметром 200–300 мм, с высотой борта 25–40 мм; металлическая крышка диаметром 150–200 мм; газовая горелка, имеющая пламя в форме шара диаметром ($4,0 \pm 0,5$) мм; чашка Петри ЧБН-1-100 ТС диаметром 100 мм; пипет-дозатор BIOHIT PROLINE TIP — 100–1000 мл; секундомер по ГОСТ 8.423–81, класс точности 3; *n*-гептан марки ХЧ.

В ходе подготовки к анализу металлический противень, служащий для предотвращения случайного разлива горючей жидкости, устанавливали в вытяжном шкафу на ровной устойчивой поверхности. Чашку Петри диаметром 100 мм помещали в центр противня. В центр чашки Петри вертикально на плоскую шляпку устанавливали шуруп диаметром 2–3 мм с резьбой по всей длине, без следов деформации и механической коррозии. Шуруп подбирали такой высоты, чтобы он не выступал за борта чашки Петри.

Для проведения качественного микроанализа пленкообразующей и изолирующей способности в чашку Петри заливали 40 мл *n*-гептана так, чтобы не нарушить положение шурупа и чтобы его шляпка и резьба находились в погруженном состоянии. Пипет-дозатор устанавливали на объем 750 мл и наполняли пенообразующим раствором. Включали секундомер и на острье шурупа с помощью пипет-дозатора по одной капле выливали пенообразующий раствор за 45 с. Через 120 с после введения первой капли исследуемого раствора к поверхности *n*-гептана подносили зажженную горелку на расстояние 15 мм от поверхности зеркала жидкости.

Пленкообразующая способность раствора пенообразователя считалась удовлетворительной, если не наблюдалось воспламенения гептана. В случае если горение *n*-гептана возникало, пламя гасили, накрыв чашку Петри металлической крышкой.

Для определения пленкообразующей и изолирующей способности пены, полученной из растворов фторированных ПАВ, использовались следующие оборудование и материалы: металлическая емкость вместимостью 350 мл, высотой 90 мм, шириной 75 мм; коническое сито из нержавеющей тканой сетки с диаметром ячейки в свету 0,14 мм и диаметром проволоки 0,09 мм, высотой 10 см, диаметром 8 см; металлический противень диаметром 200–300 мм,

с высотой борта 25–40 мм; весы ВЛКТ-500; газовая горелка, имеющая пламя в форме шара диаметром ($4,0 \pm 0,5$) мм; размельчитель тканей по ТУ 64-1-1505–79; измерительный цилиндр по ГОСТ 1770–74; секундомер по ГОСТ 8.423–81, класс точности 3; дистиллированная вода по ГОСТ 6709–72; циклогексан марки Ч.

Металлический противень, служащий для предотвращения случайного разлива горючей жидкости, устанавливали в вытяжном шкафу на ровной устойчивой поверхности. Емкость вместимостью 350 мл для определения пленкообразующей и изолирующей способности помещали в центр противня и заливали в нее 150 мл дистиллированной воды и 70 мл циклогексана.

В стеклянный мерный цилиндр помещали расчетную массу пенообразующего раствора и доводили объем дистиллированной водой до 100 см³. Полученный раствор пенообразователя при температуре (20 ± 2) °C заливали в стакан размельчителя тканей, устанавливали переключатель числа оборотов в положение 4000 мин⁻¹, затем одновременно включали электродвигатель и секундомер. Раствор перемешивали в течение 30 с, после чего электродвигатель выключали.

В металлическую емкость вместимостью 350 мл с водой и циклогексаном добавляли 50 мл полученной пены. Затем в емкость вставляли сухое коническое сито, закрепляли его и включали секундомер. В результате небольшая часть пузырьков проникала через сито, но большая часть поверхности оставалась свободной от пены.

Далее зажигали горелку, регулируя пламя так, чтобы оно имело форму шара диаметром ($4,0 \pm 0,5$) мм. По истечении 1 мин к поверхности топлива подносили пламя горелки на расстояние 12 мм от поверхности зеркала жидкости.

Пленкообразующая способность раствора пенообразователя считалась удовлетворительной, если не наблюдалось воспламенения гептана.

В Республике Беларусь фторированные поверхностно-активные вещества не производятся. Для создания пенообразователя целевого назначения на основе промышленно выпускаемых ПАВ использовались фторированные поверхностно-активные вещества, поставляемые в республику ведущими мировыми производителями, такими как “ЗМ” Innovative Properties Company, Clariant AG, Bayer AG, Du Pont de Nemours and Company, имеющими региональные представительства в Беларуси.

В [4] приведены результаты исследования поверхностного и межфазного натяжения между *n*-гептаном и раствором ПАВ, а также математические зависимости поверхностного натяжения от концентрации фторированного ПАВ.

Известно [5], что между поверхностным натяжением и концентрацией ПАВ в растворе существует взаимосвязь, описываемая уравнением Шишковского:

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma' = a \ln(bc + 1), \quad (3)$$

где $\Delta\sigma$ — изменение поверхностного натяжения;

σ_0 — поверхностное натяжение воды;

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

a и b — эмпирические коэффициенты.

Результаты обработки полученных экспериментальных данных показали, что только для амфотерного фторированного ПАВ марки Fluowet SA зависимость поверхностного натяжения от концентрации в исследованном интервале концентраций (0–0,5 % масс.) может быть описана уравнением Шишковского (рис. 1):

$$\sigma' = 72,4 - 1,1 \ln(1,16 \cdot 10^{21} c + 1). \quad (3')$$

У ряда исследованных фторированных ПАВ, например Zonyl FSO-100 и Zonyl FSO-300, в области выше критической концентрации мицеллообразования (ККМ) поверхностное натяжение — величина постоянная, равная соответственно 18 и 22 мН/м, а в области концентраций ниже ККМ зависимость поверхностного натяжения от концентрации описывается уравнением Шишковского.

Для остальных исследованных фторированных ПАВ, во-первых, зависимость поверхностного натяжения от концентрации фторированных ПАВ в исследованном интервале концентраций не описывается уравнением Шишковского, а во-вторых, отсутствуют области, где поверхностное натяжение остается постоянным при изменении концентрации фторированного ПАВ.

Анализ литературных и собственных экспериментальных данных позволил сделать вывод, что зависимость поверхностного натяжения от концентрации в широком диапазоне концентраций ПАВ носит сложный характер. В области ниже ККМ зависимость поверхностного натяжения от концентрации ПАВ описывается уравнением Шишковского, а в области выше ККМ — линейным уравнением

$$\sigma' = dc + f. \quad (4)$$

В отдельных случаях (например, для Zonyl FSO-100 (рис. 2), Zonyl FSO-300)

$$\sigma' = f. \quad (5)$$

Для исследуемого впервые ПАВ критическая концентрация мицеллообразования неизвестна, поэтому неясно, какие экспериментальные значения относятся к области ниже ККМ, а какие — выше. Для отнесения экспериментальных данных по поверхностному натяжению к области ниже и выше

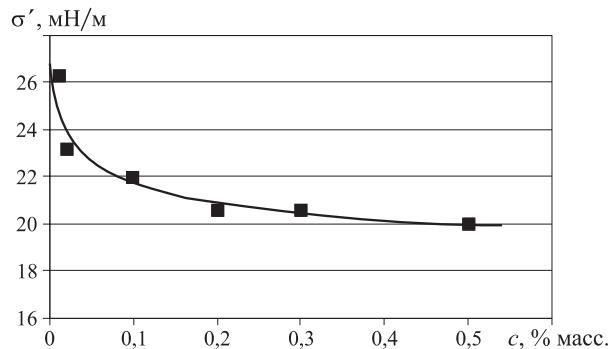


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации фторированного ПАВ марки Fluowet SA: кривая — расчетная зависимость $\sigma' = 72,4 - 1,1 \ln(1,16 \cdot 10^{21} c + 1)$; ■ — экспериментальные значения поверхностного натяжения

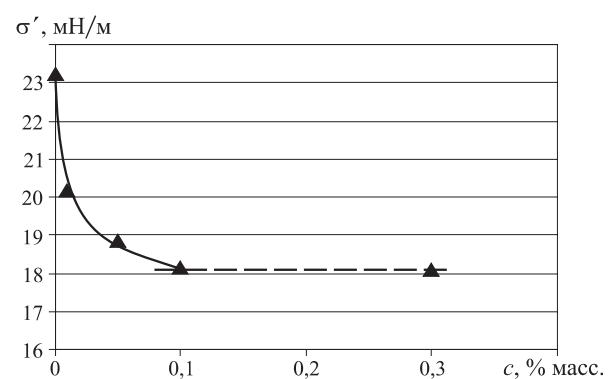


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации фторированного ПАВ марки Zonyl FSO-100: сплошная кривая — расчетная зависимость $\sigma' = 72,4 - \ln(4,16 \cdot 10^{24} c + 1)$; пунктирная — $\sigma' = 18$ мН/м; ▲ — экспериментальные значения поверхностного натяжения

ККМ, а также для определения этой концентрации предложена следующая методика.

На основе всех n экспериментальных значений с использованием электронно-вычислительной техники по методике, изложенной в [4], находят значения коэффициентов a и b в уравнении Шишковского (3). В качестве меры рассеяния наблюдаемых значений поверхностного натяжения относительно уравнения Шишковского (3) использовано стандартное отклонение — положительное значение корня квадратного из дисперсии, вычисляемой по формуле [6]:

$$S_{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\sigma_i - \sigma_{\text{pac } i})^2}{n - 2}, \quad (6)$$

где σ_i — результаты прямых измерений;

$\sigma_{\text{pac } i}$ — результат, полученный расчетным путем по уравнению (3).

Уменьшают количество экспериментальных значений до $n - 1$ путем исключения из рассмотрения значения поверхностного натяжения при максималь-

ной концентрации. Находят значения a и b из уравнения (3) и стандартное отклонение для случая $n - 1$ экспериментальных значений. На основе исключенного из рассмотрения экспериментального значения и значения при максимальной концентрации ПАВ из выборки $n - 1$ находят значения коэффициентов d и f в уравнении (4).

Уменьшают количество экспериментальных значений до $n - 2$ путем исключения из рассмотрения в выборке $n - 1$ значения поверхностного натяжения при максимальной концентрации. Для выборки $\sigma_1, c_1; \sigma_2, c_2; \sigma_3, c_3; \dots; \sigma_{n-2}, c_{n-2}$ находят значения a и b из уравнения (3) и стандартное отклонение для случая $n - 2$ экспериментальных значений. Для выборки $\sigma_{n-2}, c_{n-2}; \sigma_{n-1}, c_{n-1}; \sigma_n, c_n$ методом наименьших квадратов находят значения коэффициентов d и f из уравнения (4) и стандартное отклонение для этого случая.

И так продолжается до тех пор, пока в выборке, на основании которой находят логарифмическую зависимость, не останется только два значения $\sigma_1, c_1; \sigma_2, c_2$. Тогда в выборке, на основании которой находят значения коэффициентов из линейного уравнения, кроме значения σ_1, c_1 , будут все остальные значения (табл. 1).

Очевидно, что при обработке всех n экспериментальных данных значение стандартного отклонения $S_{\log 0}$ будет максимальным, а на последнем шаге обработки, когда останется только два значения, $S_{\log n} = 0$.

Аналогично при обработке двух экспериментальных данных (шаг 1) значение стандартного отклонения $S_{\text{лин } 1} = 0$, а на последнем шаге, при обработке $n - 1$ значений, стандартное отклонение $S_{\text{лин } n}$ будет максимальным.

Таким образом, с ростом шага обработки значение стандартного отклонения для логарифмической зависимости будет уменьшаться, а для линейной — расти. В связи с этим, начиная с шага 1, в качестве характеристики корреляции относительно логариф-

мической и линейной зависимостей предложено использовать суммарное стандартное отклонение $S_{\text{сум } i}$:

$$S_{\text{сум } i} = \frac{\sqrt{S_{\log i}^2 + S_{\text{лин } i}^2}}{2}, \quad (7)$$

где $S_{\log i}$ — стандартное отклонение для логарифмической зависимости на i -м шаге;

$S_{\text{лин } i}$ — стандартное отклонение для линейной зависимости на i -м шаге.

Минимальному значению суммарного стандартного отклонения $S_{\text{сум } i}$ соответствует наилучшая корреляция экспериментальных значений как относительно логарифмической, так и относительно линейной зависимости.

Экспериментальные данные, описываемые логарифмической зависимостью, будут относиться к области ниже ККМ, а описываемые линейной — к области выше ККМ. Точка пересечения этих зависимостей и есть критическая концентрация мицеллообразования. Значения ККМ, определенные по данной методике, достаточно хорошо совпадают со значениями, полученными по ГОСТ 29232–91 (ИСО 4311–79).

В табл. 2 для исследованных фторированных ПАВ приведены: критическая концентрация мицеллообразования c_{KKM} , поверхностное натяжение при этой концентрации и формулы, описывающие зависимости поверхностного натяжения в области выше и ниже ККМ.

Как видно из табл. 2, у Fluowet SA критическая концентрация мицеллообразования находится в области более высоких концентраций по сравнению с исследованной областью, а у остальных фторированных ПАВ — в пределах исследованной области концентраций. Величина критической концентрации мицеллообразования у исследованных фторированных ПАВ колеблется в широком диапазоне. Значение поверхностного натяжения при критической концентрации мицеллообразования у исследо-

Таблица 1. Выборки для нахождения критической концентрации мицеллообразования, логарифмической и линейной зависимостей поверхностного натяжения от концентрации

Шаг обработки экспериментальных данных	Логарифмическая зависимость		Линейная зависимость	
	Выборка для нахождения коэффициентов	Значение коэффициента корреляции	Выборка для нахождения коэффициентов	Значение коэффициента корреляции
0	$\sigma_1, c_1; \sigma_2, c_2; \sigma_3, c_3; \dots; \sigma_{n-2}, c_{n-2}; \sigma_{n-1}, c_{n-1}; \sigma_n, c_n$	$r_{\log 0}$	—	—
1	$\sigma_1, c_1; \sigma_2, c_2; \sigma_3, c_3; \dots; \sigma_{n-2}, c_{n-2}; \sigma_{n-1}, c_{n-1}$	$r_{\log 1}$	$\sigma_{n-1}, c_{n-1}; \sigma_n, c_n$	$r_{\text{лин } 1}$
2	$\sigma_1, c_1; \sigma_2, c_2; \sigma_3, c_3; \dots; \sigma_{n-2}, c_{n-2}$	$r_{\log 2}$	$\sigma_{n-2}, c_{n-2}; \sigma_{n-1}, c_{n-1}; \sigma_n, c_n$	$r_{\text{лин } 2}$
...
n	$\sigma_1, c_1; \sigma_2, c_2$	$r_{\log n}$	$\sigma_2, c_2; \sigma_3, c_3; \dots; \sigma_{n-2}, c_{n-2}; \sigma_{n-1}, c_{n-1}; \sigma_n, c_n$	$r_{\text{лин } n}$

Таблица 2. Критическая концентрация мицеллообразования и поверхностное натяжение при этой концентрации у исследованных фторированных ПАВ

Марка фторированного ПАВ	Математическая зависимость, описывающая зависимость поверхностного натяжения от концентрации в области		c_{KKM} , % масс.	σ' , мН/м	c , % масс., при которой $\sigma' = 18$ мН/м
	ниже ККМ	выше ККМ			
FSO 100	$\sigma' = 72,4 - \ln(4,16 \cdot 10^{24} c + 1)$	$\sigma' = 18$	0,102	18,0	0,102
FT 948	$\sigma' = 72,4 - 0,8 \ln(3,24 \cdot 10^{30} c + 1)$	$\sigma' = 17,5 - c$	0,278	17,2	0,105
FSK	$\sigma' = 72,4 - 0,4 \ln(4,93 \cdot 10^{59} c + 1)$	$\sigma' = 18,3 - c$	0,170	18,1	0,235
SC 4041	$\sigma' = 72,4 - 1,9 \ln(1 \cdot 10^{13} c + 1)$	$\sigma' = 19,1 - 4c$	0,268	18,0	0,268
FC 3072	$\sigma' = 72,4 - 4,7 \ln(390544c + 1)$	$\sigma' = 18,4 - 2c$	0,282	17,8	0,272
SB	$\sigma' = 72,4 - 4,4 \ln(799350,2c + 1)$	$\sigma' = 18,25 - 2,5c$	0,335	17,4	0,293
OTL	$\sigma' = 72,4 - 2,8 \ln(5,24 \cdot 10^8 c + 1)$	$\sigma' = 20,7 - 4c$	0,311	19,4	0,675
SA	$\sigma' = 72,4 - 1,1 \ln(1,16 \cdot 10^{21} c + 1)$	—	—	—	2,590
FSN 100	$\sigma' = 72,4 - 0,3 \ln(3,5 \cdot 10^{73} c + 1)$	$\sigma' = 22,38 - 1,43c$	0,150	22,2	3,060
FT 729	$\sigma' = 72,4 - 2,4 \ln(5,14 \cdot 10^9 c + 1)$	$\sigma' = 22,53 - 1,28c$	0,234	22,2	3,540
TBS	$\sigma' = 72,4 - 5,7 \ln(49260,14c + 1)$	$\sigma' = 24,05 - 0,5c$	0,099	24,0	12,100
FS 300	$\sigma' = 72,4 - 1,2 \ln(3,54 \cdot 10^{29} c + 1)$	$\sigma' = 22$	0,050	22,0	—

ванных фторированных ПАВ также изменяется существенно.

Для образования изолирующей пленки на *n*-гептане, имеющем поверхностное натяжение примерно 20,5 мН/м, сумма поверхностного натяжения водного раствора фторированного ПАВ и его межфазного натяжения с *n*-гептаном должна быть менее 20,5 мН/м.

В ряде нормативных документов других государств, действовавших на момент начала исследований и устанавливающих требования к пенообразователям целевого назначения, например в [7], указывалось, что при сохранении основного условия пленкообразования значение межфазного натяжения должно быть не менее 2,5 мН/м. Следовательно, поверхностное натяжение водного раствора фторированного ПАВ должно быть не более 18 мН/м.

Как видно из табл. 2, поверхностное натяжение водного раствора, равное 18 мН/м, может быть достигнуто при использовании практически всех исследованных фторированных ПАВ (кроме Zonyl FS-300). Причем концентрация, при которой достигается данное значение поверхностного натяжения водного раствора, колеблется в широком диапазоне.

При содержании в пленкообразующем пенообразователе более 2 % масс. фторированного ПАВ он становится неконкурентоспособным. Если учесть, что для тушения пожаров применяются 6 %-ные растворы пенообразователей целевого назначения, поверхностное натяжение водного раствора 18 мН/м должно достигаться при концентрации не более 0,12 % масс. Как видно из табл. 2, это условие выполняется для Zonyl FSO-100 и Bayowet FT 948.

Результаты исследования поверхностного натяжения между циклогексаном и 0,1 %-ным водным раствором перечисленных ПАВ показали, что оно находится в диапазоне 6–10 мН/м. Вследствие этого условие образования изолирующей пленки на *n*-гептане для 0,1 %-ных растворов исследованных фторированных ПАВ не выполняется.

Для получения положительного значения коэффициента растекания из водных растворов по поверхности горючих жидкостей целесообразно использовать фторуглеродный ПАВ в сочетании с углеводородными ПАВ, более эффективно снижающими межфазное натяжение [8].

В целях выбора системы *фторированное ПАВ – углеводородное ПАВ – вода*, перспективной в качестве основы пленкообразующего пенообразователя, кроме исследования поверхностного и межфазного натяжения, проведено исследование кратности и устойчивости пены, получаемой из растворов углеводородных и фторированных ПАВ [9].

В результате этого исследования в качестве углеводородного ПАВ выбран алкилсульфонат, введением которого в количестве 0,5 % масс. можно обеспечить достижение нормируемых значений кратности и устойчивости пены. Установлено, что 0,5 %-ные водные растворы Fluowet SA имеют кратность и устойчивость пены, сопоставимые с кратностью и устойчивостью 0,5 % масс. алкилсульфоната. Остальные же растворы характеризуются невысокой кратностью (2–3,7) и устойчивостью (30–150 с) получаемой пены [9].

Основываясь на результатах исследования кратности и устойчивости пены, получаемой из 0,5 %-ных

Таблица 3. Поверхностное и межфазное натяжение водных растворов систем алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс.

Параметр	Марка фторированного ПАВ	Соотношение фторированное ПАВ: алкилсульфонат					
		5 : 0	4 : 1	3 : 2	2 : 3	1 : 4	0 : 5
Поверхностное натяжение, мН/м	FT 948	17,0	17,0	17,0	17,0	18,5	33,5
	SA	20,0	20,5	20,5	20,5	22,0	33,5
	OTL	19,0	19,5	19,5	20,0	23,0	33,5
	FT 729	22,0	22,0	22,0	22,5	23,5	33,5
Межфазное натяжение между раствором и циклогексаном, мН/м	FT 948	7,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5
	SA	7,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,5
	OTL	7,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
	FT 729	7,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5
Суммарное поверхностное и межфазное натяжение, мН/м	FT 948	23,0	19,0	19,0	19,0	21,5	36,0
	SA	27,5	23,5	22,5	22,5	24,0	36,0
	OTL	26,5	22,5	22,5	23,0	25,5	36,0
	FT 729	27,5	25,5	25,0	25,5	25,5	36,0
Пленкообразующая и изолирующая способность на поверхности <i>n</i> -гептана	FT 948	–	±	+	+	–	–
	SA	–	–	–	–	–	–
	OTL	–	–	–	–	–	–
	FT 729	–	–	–	–	–	–

П р и м е ч а н и е . Знак “+” означает, что пленка на поверхности *n*-гептана образуется, “–” — пленка не образуется, “±” — в ряде случаев образуется, а в ряде — нет.

водных растворов фторированных ПАВ, значений поверхностного и межфазного натяжений, для изучения выбраны сечения систем алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода, алкилсульфонат – Fluowet SA – вода, алкилсульфонат – Fluowet OTL – вода и алкилсульфонат – Bayowet FT 729 – вода с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс.

ПАВ Bayowet FT 948 выбран как компонент, обеспечивающий минимальные значения суммарного поверхностного и межфазного натяжения, а Fluowet SA — обеспечивающий максимальные значения кратности и устойчивости пены при несущественном увеличении суммарного поверхностного и межфазного натяжения. Эти два компонента относятся к амфотерным поверхностно-активным веществам. Кроме амфотерных, среди исследованных типов фторированных ПАВ представляют интерес неионогенные поверхностно-активные вещества, а среди них — Fluowet OTL, характеризующийся в данной группе максимальными значениями кратности и устойчивости. Наряду с Fluowet OTL, интерес представляют также Bayowet FT 729, 0,5 %-ные водные растворы которого имеют одинаковые значения суммарного поверхностного и межфазного натяжения.

Результаты исследования поверхностного и межфазного натяжения между циклогексаном и водными растворами сечений систем алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода, алкилсульфонат – Fluowet SA –

вода, алкилсульфонат – Fluowet OTL – вода и алкилсульфонат – Bayowet FT 729 – вода с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс. приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, уже при соотношении фторированного ПАВ и алкилсульфоната 1 : 4 наблюдается существенное снижение поверхностного натяжения по сравнению с 0,5 %-ным раствором алкилсульфоната. При соотношении фторированного ПАВ и алкилсульфоната от 2 : 3 до 5 : 0 поверхностное натяжение в выбранном сечении исследованных систем остается практически постоянным, примерно численно равным поверхностному натяжению для 0,5 %-ного раствора фторированного ПАВ.

По аналогии с системами фторированное ПАВ – вода можно предположить, что в сечениях системы углеводородное ПАВ – фторированное ПАВ – вода с постоянным суммарным содержанием ПАВ зависимость поверхностного натяжения от концентрации ПАВ описывается уравнением Шишковского (3) и линейным уравнением (4). Поэтому для систем алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода в сечении с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс. характер зависимости поверхностного натяжения от концентрации может быть описан системой двух уравнений — (4) и (5).

В результате обработки экспериментальных данных были найдены уравнения аппроксимирующих кривых зависимости поверхностного натяжения от

Таблица 4. Математические зависимости, описывающие зависимость поверхностного натяжения от концентрации для сечений систем *алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода*, содержащих 0,5 % масс. ПАВ

Марка фторированного ПАВ	Математическая зависимость, описывающая зависимость поверхностного натяжения от концентрации в области		$c_{\text{перег}}$, % масс.	σ' , мН/м
	ниже ККМ	выше ККМ		
Bayowet FT 948	$\sigma' = 33,5 - 2,2 \ln(9035,21c + 1)$	$\sigma' = 17$	0,20	17,0
Fluowet SA	$\sigma' = 33,5 - 2,2 \ln(1826,86c + 1)$	$\sigma' = 20,9 - 1,5c$	0,19	20,6
Fluowet OTL	$\sigma' = 33,5 - 4,7 \ln(83,39c + 1)$	$\sigma' = 20,55 - 3c$	0,20	20,0
Bayowet FT 729	$\sigma' = 33,5 - 1,4 \ln(12915,63c + 1)$	$\sigma' = 20,65 - 1,5c$	0,23	22,3

концентрации фторированного ПАВ при минимальном значении стандартного отклонения экспериментальных значений от теоретической зависимости, которые представлены в табл. 4. В этой таблице для исследованных сечений систем *алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода*, содержащих 0,5 % масс. ПАВ, приведена также концентрация $c_{\text{перег}}$, при которой перестает выполняться уравнение Шишковского.

Как видно из табл. 4, поверхностное натяжение водного раствора менее 18 мН/м достигается только в системе *алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода*.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что в сечениях систем *алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода*, содержащих 0,5 % масс. ПАВ, уменьшить поверхностное натяжение ниже поверхностного натяжения для 0,5 %-ного раствора фторированного ПАВ не удается.

Характер зависимости межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации фторированного ПАВ для сечения системы *алкилсульфонат – Bayowet FT 729 – вода* с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс. аналогичен зависимостям поверхностного натяжения для этих сечений систем *алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода*. С увеличением содержания фторированного ПАВ межфазное поверхностное натяжение между раствором и циклогексаном снижается, достигая при соотношении фторированного ПАВ и алкилсульфоната 3 : 2 и более значений, примерно численно равных межфазному натяжению между циклогексаном и раствором для 0,5 %-ного раствора Bayowet FT 729.

Результаты математической обработки экспериментальных значений межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации для сечений с содержанием ПАВ 0,5 % масс. системы *алкилсульфонат – Bayowet FT 729 – вода* позволили определить концентрацию $c_{\text{перег}}$, при которой перестает выполнятся уравнение Шишковского в указанном сечении этой системы. Она оказалась равной 0,23 % масс. Bayowet FT 729, а значение межфазного натяжения при этой концентрации составило 3,1 мН/м.

В то же время в результате обработки экспериментальных значений межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации для сечений с содержанием ПАВ 0,5 % масс. системы *алкилсульфонат – Fluowet OTL – вода* установлено, что в этом сечении концентрация $c_{\text{перег}}$, при которой перестает выполняться уравнение Шишковского, не достигается.

Совершенно иной характер имеют зависимости межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации фторированного ПАВ для сечений систем *алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода* и *алкилсульфонат – Fluowet SA – вода* с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс. В этих системах у ряда составов межфазное натяжение между циклогексаном и раствором ниже даже межфазного натяжения между циклогексаном и раствором для 0,5 %-ных растворов указанных фторированных ПАВ. Таким образом, зависимости межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации фторированного ПАВ для сечений систем *алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода* и *алкилсульфонат – Fluowet SA – вода* с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс. характеризуются наличием минимума (рис. 3).

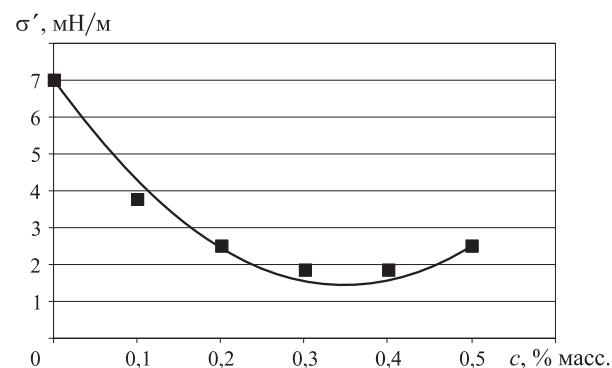


Рис. 3. Зависимость межфазного натяжения между раствором и циклогексаном в сечении, содержащем 0,5 % масс. ПАВ, системы *алкилсульфонат – Fluowet SA – вода* от концентрации Fluowet SA: кривая — расчетная зависимость $\sigma' = 46,16c^2 - 32,08c + 7$; ■ — экспериментальные значения поверхности натяжения между раствором и циклогексаном

Основываясь на экспериментальных данных, представленных на рис. 3, предположили, что аппроксимирующая кривая зависимости межфазного натяжения между раствором и циклогексаном от концентрации фторированного ПАВ может быть описана уравнением

$$\sigma = ac^2 + bc + d, \quad (8)$$

где σ — межфазное поверхностное натяжение между раствором и циклогексаном, $\text{мН}/\text{м}$;
 c — концентрация фторированного ПАВ, % масс.;
 a , b и d — эмпирические коэффициенты.

Методика нахождения этих эмпирических коэффициентов в уравнении (8) приведена в [9]. Найденные с использованием этой методики математические зависимости межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации фторированного ПАВ типа (8) для сечения системы *алкилсульфонат — Fluowet SA — вода* с суммарным содержанием ПАВ 0,5 % масс. приведены на рис. 3. Как видно из рис. 3, математические зависимости удовлетворительно описывают экспериментальные зависимости межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации фторированного ПАВ.

В табл. 4 для исследованных сечений систем *алкилсульфонат — фторированное ПАВ — вода*, содержащих 0,5 % масс. ПАВ, приведены формулы аппроксимирующих кривых зависимости межфазного натяжения между циклогексаном и раствором от концентрации фторированного ПАВ.

Основываясь на математических зависимостях поверхностного и межфазного натяжения от концентрации фторированного ПАВ, можно найти зависимость их суммы от концентрации фторированного ПАВ в сечении систем *алкилсульфонат — фторированное ПАВ — вода*, содержащем 0,5 % масс. ПАВ.

Анализ полученных математических зависимостей суммарного поверхностного и межфазного натяжения от концентрации свидетельствует, что в сечениях систем *алкилсульфонат — Bayowet FT 729 — вода* и *алкилсульфонат — Fluowet OTL — вода*, содержащих 0,5 % масс. ПАВ, уменьшения суммарного поверхностного и межфазного натяжения по сравнению с водными растворами, содержащими 0,5 % масс. фторированного ПАВ, не наблюдается. Ряд составов системы *алкилсульфонат — Fluowet SA — вода* и *алкилсульфонат — Bayowet FT 948 — вода* характеризуются более низкими значениями суммарного поверхностного и межфазного натяжения, чем состав, содержащий только 0,5 % масс. фторированного ПАВ. В то же время в сечениях систем *алкилсульфонат — Bayowet FT 729 — вода*, *алкилсульфонат — Fluowet OTL — вода* и *алкилсульфонат — Fluowet SA — вода*, содержащих 0,5 % масс. ПАВ, условие образования изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана

не выполняется. Условие образования изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана (поверхностное натяжение около 20,5 $\text{мН}/\text{м}$) выполняется только для составов указанного сечения системы *алкилсульфонат — Bayowet FT 948 — вода*, содержащих не менее 0,16 % масс. Bayowet FT 948.

Результаты качественного микроанализа изолирующей способности составов сечения систем *алкилсульфонат — фторированное ПАВ — вода*, содержащего 0,5 % масс. ПАВ, показали, что изолирующая пленка не образуется у составов сечения систем *алкилсульфонат — Bayowet FT 729 — вода*, *алкилсульфонат — Fluowet OTL — вода* и *алкилсульфонат — Fluowet SA — вода*, содержащего 0,5 % масс. ПАВ. Устойчивая изолирующая пленка образуется у составов системы *алкилсульфонат — Bayowet FT 948 — вода*, содержащих 0,2 % масс. и более Bayowet FT 948, при суммарном содержании ПАВ 0,5 % масс. Состав, содержащий 0,1 % масс. Bayowet FT 948, 0,4 % масс. алкилсульфоната и воду (остальное), в ряде случаев образует пленку, а в ряде — нет. Это связано с тем, что он имеет значение суммарного поверхностного и межфазного натяжения, близкое к 20,5 $\text{мН}/\text{м}$.

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что данные о возможности формирования изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана, полученные на основе исследования поверхностного натяжения, хорошо согласуются с результатами качественного микроанализа пленкообразующей и изолирующей способности по предложенной методике. Учитывая, что объем исследований, необходимый для определения формирования пленкообразующей и изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана по разработанной методике, существенно меньше, чем при исследовании поверхностного натяжения, дальнейшие исследования выполняли с использованием качественного микроанализа пленкообразующей и изолирующей способности.

С помощью качественного микроанализа пленкообразующей и изолирующей способности находили минимальные концентрации фторированного ПАВ, необходимые для образования изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана в системах *алкилсульфонат — фторированное ПАВ — вода*. Для исследования выбирали составы, содержащие алкилсульфоната 1 % масс., фторированного ПАВ — от 0,1 до 5,0 % масс., воды — до 100 % масс.

Выбор количества алкилсульфоната обусловлен тем, что на момент начала исследования установлено [8], что при такой концентрации этого ПАВ возможно получение пены с кратностью не менее 40, что нормативно закреплено в НТД [1, 2].

Минимальная концентрация фторированного ПАВ, необходимая для образования изолирующей

пленки на поверхности *n*-гептана, определялась для следующих фторированных ПАВ: Bayowet FT 948, Bayowet FT 729, Fluowet SA, Fluorad SC-4041, Fluorad FC-3072, Fluowet SB, Fluowet OTL, Zonyl TBS, Zonyl FSK, Zonyl FSO-100, Zonyl FSN-100, Zonyl FS-300. Результаты исследования пленкообразующей и изолирующей способности составов систем *алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода* на поверхности *n*-гептана в соответствии с разработанной методикой приведены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, у исследованных составов систем *алкилсульфонат – Bayowet FT 729 – вода, алкилсульфонат – Fluowet OTL – вода, алкилсульфонат – Fluowet SB – вода, алкилсульфонат – Fluorad FC-3072 – вода, алкилсульфонат – Zonyl TBS – вода, алкилсульфонат – Zonyl FSN-100 – вода и алкилсульфонат – Zonyl FS-300 – вода* образования пленки на поверхности *n*-гептана не происходит. Минимальная концентрация фторированных ПАВ для достижения пленкообразующей и изолирующей способности в системах *алкилсульфонат – Zonyl FSO-100 – вода, алкилсульфонат – Zonyl FSK – вода, алкилсульфонат – Fluowet SA – вода, алкилсульфонат – Fluorad SC-4041 – вода и алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода* сильно зависит от природы фторированного ПАВ. Из табл. 5 также следует, что для по-

нам – Fluowet SB – вода, алкилсульфонат – Fluorad FC-3072 – вода, алкилсульфонат – Zonyl TBS – вода, алкилсульфонат – Zonyl FSN-100 – вода и алкилсульфонат – Zonyl FS-300 – вода образования пленки на поверхности *n*-гептана не происходит. Минимальная концентрация фторированных ПАВ для достижения пленкообразующей и изолирующей способности в системах *алкилсульфонат – Zonyl FSO-100 – вода, алкилсульфонат – Zonyl FSK – вода, алкилсульфонат – Fluowet SA – вода, алкилсульфонат – Fluorad SC-4041 – вода и алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода* сильно зависит от природы фторированного ПАВ. Из табл. 5 также следует, что для по-

Таблица 5. Результаты исследования пленкообразующей и изолирующей способности составов систем *алкилсульфонат – фторированное ПАВ – вода*

Марка фторированного ПАВ	Содержание ФПАВ, % масс.	Наличие изолирующей пленки на поверхности <i>n</i> -гептана в опыте		
		1	2	3
Fluorad FC-3072	0,1	Нет	Нет	Нет
	0,5	Нет	Нет	Нет
	1,0	Нет	Нет	Нет
	2,0	Нет	Нет	Нет
	5,0	Нет	Нет	Нет
Bayowet FT 729	0,1	Нет	Нет	Нет
	0,5	Нет	Нет	Нет
	1,0	Нет	Нет	Нет
	2,0	Нет	Нет	Нет
	5,0	Нет	Нет	Нет
Fluowet SB	0,1	Нет	Нет	Нет
	0,5	Нет	Нет	Нет
	1,0	Нет	Нет	Нет
	2,0	Нет	Нет	Нет
	5,0	Нет	Нет	Нет
Fluowet OTL	0,1	Нет	Нет	Нет
	0,5	Нет	Нет	Нет
	1,0	Нет	Нет	Нет
	2,0	Нет	Нет	Нет
	5,0	Нет	Нет	Нет
Zonyl TBS	0,1	Нет	Нет	Нет
	0,5	Нет	Нет	Нет
	1,0	Нет	Нет	Нет
	2,0	Нет	Нет	Нет
	5,0	Нет	Нет	Нет
Zonyl FSN-100	0,1	Нет	Нет	Нет
	0,5	Нет	Нет	Нет
	1,0	Нет	Нет	Нет
	2,0	Нет	Нет	Нет
	5,0	Нет	Нет	Нет

Окончание табл. 5

Марка фторированного ПАВ	Содержание ФПАВ, % масс.	Наличие изолирующей пленки на поверхности <i>n</i> -гептана в опыте																																																								
		1	2	3																																																						
Zonyl FS-300	0,1	Нет	Нет	Нет																																																						
	0,5	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	2,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	5,0	Нет	Нет	Нет																																																						
Zonyl FSO-100	0,1	Нет	Нет	Нет																																																						
	0,5	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	2,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	3,5	Нет	Нет	Нет																																																						
Zonyl FSK	5,0	Есть	Есть	Есть																																																						
	0,1	Нет	Нет	Нет																																																						
	0,5	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	2,0	Нет	Нет	Нет																																																						
Fluowet SA	3,5	Нет	Нет	Нет																																																						
	5,0	Есть	Есть	Есть																																																						
	0,1	Нет	Нет	Нет																																																						
	0,5	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,0	Нет	Нет	Нет																																																						
Fluorad SC-4041	2,0	Нет	Нет	Нет	2,5	Есть	Есть	Есть	3,0	Есть	Есть	Есть	4,0	Есть	Есть	Есть	0,1	Нет	Нет	Нет	Bayowet FT 948	0,5	Нет	Нет	Нет	1,0	Нет	Нет	Нет	1,2	Нет	Нет	Нет	1,5	Есть	Есть	Есть	2,0	Есть	Есть	Есть	Bayowet FT 948	0,1	Нет	Нет	Нет	0,15	Нет	Нет	Есть	0,175	Есть	Есть	Есть	0,2	Есть	Есть	Есть
	2,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	2,5	Есть	Есть	Есть																																																						
	3,0	Есть	Есть	Есть																																																						
	4,0	Есть	Есть	Есть																																																						
	0,1	Нет	Нет	Нет																																																						
Bayowet FT 948	0,5	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,0	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,2	Нет	Нет	Нет																																																						
	1,5	Есть	Есть	Есть																																																						
	2,0	Есть	Есть	Есть																																																						
Bayowet FT 948	0,1	Нет	Нет	Нет																																																						
	0,15	Нет	Нет	Есть																																																						
	0,175	Есть	Есть	Есть																																																						
	0,2	Есть	Есть	Есть																																																						

Таблица 6. Содержание алкилсульфоната и фторированных ПАВ в пенообразователях для тушения пожаров и их рабочих растворах, необходимое для получения изолирующей пленки

Марка фторированного ПАВ	Содержание, % масс.					
	в рабочем растворе			в пенообразователе		
	ФПАВ	алкилсульфоната	воды	ФПАВ	алкилсульфоната	Воды
Bayowet FT 948	0,175	1,0	98,825	2,92	16,67	81,01
Fluorad SC-4041	1,5	1,0	97,5	25,00	16,67	58,33
Fluowet SA	2,5	1,0	96,5	41,67	16,67	41,66
Zonyl FSK	5,0	1,0	94,0	83,33	16,67	—
Zonyl FSO-100	5,0	1,0	94,0	83,33	16,67	—

лучения изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана достаточно всего 0,175 % масс. Bayowet FT 948, в то время как ПАВ Zonyl FSK и Zonyl FSO-100 необходимо 5,0 % масс.

Таким образом, в результате проведенного исследования определены составы рабочих растворов пенообразователей, используя которые можно получить на поверхности нефтепродуктов изолирующую пленку (см. табл. 5).

При тушении пожаров, как правило, используются 6 %-ные рабочие растворы пенообразователей. Исходя из состава рабочих растворов, способных образовывать изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана, можно рассчитать содержание алкилсульфоната и фторированных ПАВ Bayowet FT 948, Fluowet SA, Fluorad SC-4041, Zonyl FSK и Zonyl FSO-100 в составе пенообразователя для тушения пожаров. Результаты этого расчета представлены в табл. 6.

Как видно из табл. 6, суммарное содержание ПАВ в пенообразователях для тушения пожаров на осно-

ве систем алкилсульфонат – Zonyl FSO-100 – вода и алкилсульфонат – Zonyl FSK – вода должно быть 100 % масс. Однако это практически не осуществимо. Кроме того, вязкость таких составов существенно превышает нормативное значение (100 мм²/с), что делает невозможным введение модификаторов для достижения нормируемых значений других свойств пенообразователей целевого назначения для тушения пожаров.

Суммарное содержание ПАВ в составах пенообразователей для тушения пожаров на основе систем алкилсульфонат – Fluowet SA – вода и алкилсульфонат – Fluorad SC-4041 – вода должно составлять 41–58 % масс. Это делает применение их в качестве основы пенообразователей целевого назначения для тушения пожаров неперспективным.

Таким образом, в результате проведенного исследования выбрана основа пенообразователя целевого назначения, позволяющая получать изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТБ ГОСТ Р 50588–99. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. 01.07.2000. — Минск : Госстандарт, 2000. — 18 с.
2. ГОСТ Р 50588–93. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. 01.07.94. — М. : Изд-во стандартов, 1993; Стандартинформ, 2006. — 16 с.
3. Современные пенообразующие составы, свойства, области применения и методы испытания. — М. : НИИТЭХИМ, 1984. — 40 с.
4. Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Котов Д. С. Исследование поверхностного натяжения фторсодержащих поверхностно-активных веществ с целью создания пленкообразующего пенообразователя // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2006. — № 1(19). — С. 69–81.
5. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. — СПб : Химия, 1995. — 400 с.
6. Котов С. Г., Григорьев Ю. В., Емельянов В. К., Котов Д. С., Заневская Ю. В., Навроцкий О. Д. Исследование поверхностного и межфазного натяжения растворов солей перфторонановой кислоты // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2008. — № 2(24). — С. 39–57.
7. НПБ 203–98. Пенообразователи для подслойного тушения нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.04.98 : утв. ГУГПС МВД РФ 23.12.98; МЧС России 18.06.2003 // Национальная справочно-информационная служба в области пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Электронная база данных

- документов по пожарной безопасности — Электрон. дан. и прогр. (926 Мб). — М., 2010. — 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).
8. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. — М. : Знак, 2000. — 464 с.
 9. Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Котов Д. С. Исследование поверхностного натяжения водных растворов фторированных и углеводородных ПАВ с целью создания пленкообразующего пенообразователя // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2009. — № 1(25). — С. 36–49.

Материал поступил в редакцию 24 февраля 2011 г.

*Электронные адреса авторов: kotovsg@bsu.by; kotov_sergei@rambler.ru;
oleg.navrotsky@tut.by; niipb@mail.by; viscount.d@gmail.com.*

**ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»
ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ**

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

**Обеспечение
пожарной безопасности
электроустановок**



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

В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества. Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



Web-сайт: firepress.ru
Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru
Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 737-65-74



С. С. Воевода
д-р техн. наук, профессор,
начальник кафедры Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



С. А. Макаров
канд. техн. наук, старший
научный сотрудник Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



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



Д. Л. Бастиров
адъюнкт Академии
ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия



М. А. Крутов
адъюнкт Академии
ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.84.664

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СМАЧИВАНИЯ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ ВОДОЙ И ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ СМАЧИВАТЕЛЕЙ

Проанализированы условия смачивания твердых поверхностей. Представлена математическая модель определения минимальной концентрации смачивателя для тушения гидрофобных поверхностей.

Ключевые слова: водный раствор; смачиватель; концентрация смачивателя; гидрофобный материал.

Показателем смачивающего действия водного раствора является величина краевого угла смачивания раствором твердой поверхности. Чем меньше этот угол, тем больше площадь смачивания водой и тоньше ее слой на твердой поверхности. Угол смачивания измеряется в сторону растекания жидкости по поверхности.

Если горючая поверхность сплошная, непористая, например резина или синтетические материалы, то при краевом угле смачивания θ , близком к нулю, капля жидкости будет растекаться до некоторого ми-

нимального, с предельной толщиной, слоя. Силы, действующие по периметру смачивания поверхности каплей, показаны на схеме (рис. 1).

Величина краевого угла смачивания определяется природой поверхности и составом водного раствора.

Вода без добавок не смачивает поверхности “гидрофобных” материалов, таких как резина, хлопок, торф, уголь и др., но зато хорошо смачивает хлопчатобумажную ткань, бумагу, дерево. При введении в водные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) они концентрируются на границе раздела *вода – твердое тело*. При этом природа поверхностного слоя воды становится гидрофобной, поскольку молекулы ПАВ выстраиваются на поверхности частоколом, образуя плотный мономолекулярный слой, в котором молекулы ориентированы гидрофобными конусами к твердой поверхности. В результате такая жидкость хорошо смачивает “родственную” и ей теперь твердую поверхность. Схема такого частокола представлена на рис. 2.

Скорость растекания капли определяется величиной коэффициента растекания, который рассчитывается по формуле:

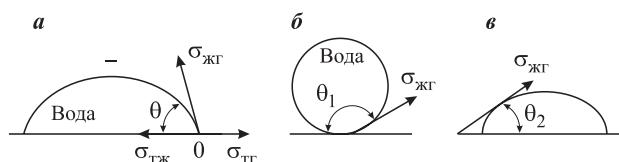


Рис. 1. Силы, действующие по периметру смачивания поверхности: *a* — растекание капли жидкости до минимального слоя; *б* — смачивания нет; *в* — смачивание; $\sigma_{\text{тж}}$ — межфазное натяжение на границе *твердое тело – жидкость*; $\sigma_{\text{жг}}$ — межфазное натяжение на границе *жидкость – газ (воздух)*; $\sigma_{\text{тг}}$ — межфазное натяжение на границе *твердое тело – газ (воздух)*

© Воевода С. С., Макаров С. А., Молчанов В. П., Бастиров Д. Л., Крутов М. А., 2011

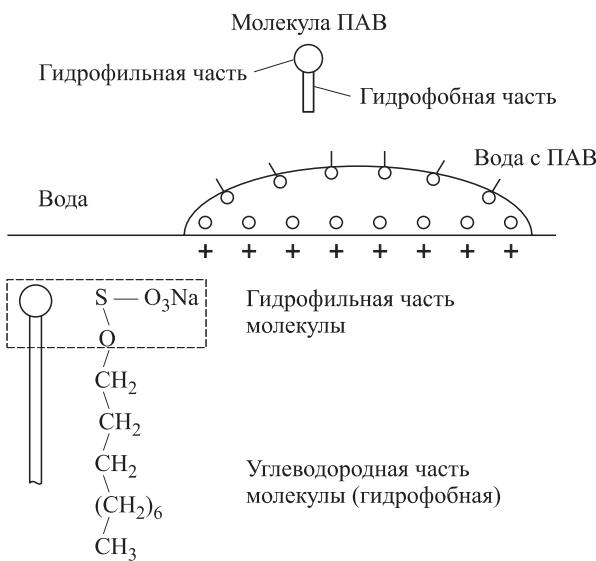


Рис. 2. Схема концентрации молекул ПАВ на границе раздела *вода – твердое тело*

$$f_\sigma = \sigma_{\text{тр}} - (\sigma_{\text{тж}} + \sigma_{\text{жг}}),$$

где $\sigma_{\text{тж}}$ — межфазное натяжение на границе *твердое тело – жидкость*;
 $\sigma_{\text{жг}}$ — межфазное натяжение на границе *жидкость – газ (воздух)*;
 $\sigma_{\text{тр}}$ — межфазное натяжение на границе *твердое тело – газ (воздух)*.

Поскольку значения $\sigma_{\text{тр}}$ и $\sigma_{\text{тж}}$, как правило, неизвестны и не поддаются экспериментальному измерению, то величину f_σ определяют по высоте подъема мениска жидкости по вертикальной пластинке, опущенной в жидкость. Анализ процесса растекания капли, проведенный на базе уравнения Навье–Стокса, дает выражение, связывающее площадь растекания S капли массой m , вязкостью η и плотностью ρ и время процесса растекания. Для вязкого режима, когда скорость растекания определяется вязкостью раствора:

$$S = \frac{4f_\sigma m \pi}{\chi \eta \rho}, \quad (1)$$

где $\chi = 10$ — для круга.

Коэффициент растекания f_σ , как правило, превышает 3 мН/м. Тогда скорость растекания

$$U_s = \frac{dS}{dt} = \frac{A}{\tau^{1/2}}, \quad (2)$$

где $A = 4\pi f_\sigma m / (10\eta\rho)$.

Следовательно, скорость растекания будет со временем снижаться и составит $0,1 \dots 0,8 \text{ см}^2/\text{с}$.

В кинетическом режиме, который длится не более 1 с, для капли, имеющей в начальный момент радиус R_k , площадь определяется формулой

$$S = \pi (f_\sigma R_k / \rho)^{1/2} \tau. \quad (3)$$

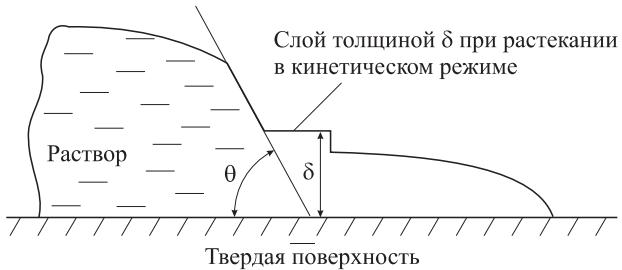


Рис. 3. Схема растекания капли в кинетическом режиме

Причем следует отметить, что в кинетическом режиме капля растекается слоем постоянной толщины, составляющей 5...10 мкм, так, как это показано на рис. 3. В этом случае скорость растекания составляет:

$$U_s^k = \pi (f_\sigma R / \rho) = 2,0 \dots 20,0 \text{ см}^2/\text{с}.$$

При высокой интенсивности подачи распыленной воды, когда поверхность плотно покрывается каплями, растекание следует анализировать в инерционном режиме, а при малой интенсивности, когда поверхность покрывается длительное время в результате довольно медленного растекания капли, следует использовать расчетные соотношения для вязкого режима растекания капли.

При попадании жидкости на пористую поверхность, такую как ткани, хлопок, торф, древесина, процессу растекания будет предшествовать капиллярная пропитка водой материала. Для таких горючих материалов, как торф или хлопок, растекание в чистом виде проявится только на завершающей стадии тушения, поэтому определяющим здесь будет капиллярное смачивание.

Условием капиллярного смачивания, так же как и растекания, является значение краевого угла смачивания менее 90° . Только в этом случае появится движущая сила смачивания — капиллярное давление, и жидкость под действием атмосферного давления будет впитываться в поры твердого материала, причем усилие будет тем выше, чем меньше размер пор. Схема смачиваемой и несмачиваемой капиллярно-пористой системы рассмотрена ниже (рис. 4).

Для несмачиваемой поверхности в капилляре формируется мениск жидкости выпуклой стороной, направленной вглубь канала. Поскольку давление воздуха над выпуклой поверхностью выше атмосферного, то жидкость в капилляре не проникает и внутренняя поверхность материала смачиваться не будет. Вода в виде ручейков будет стекать на землю, практически не участвуя в процессе тушения и не препятствуя распространению пламени. Поверхность останется практически сухой, несмотря на то, что по ней стекала вода. Добавление в раствор молекул поверхностно-активных веществ — смачи-

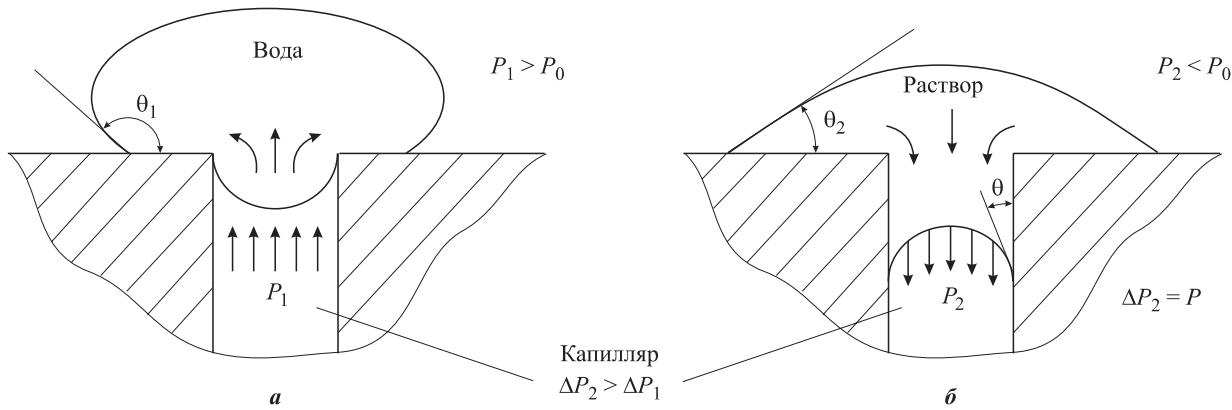


Рис. 4. Схема несмачиваемой (а) и смачиваемой (б) капиллярно-пористой системы (P_0 — атмосферное давление)

вательей резко уменьшает краевой угол смачивания жидкостью твердой поверхности, поэтому мениск внутри капилляра формируется вогнутым в сторону канала, свободного от раствора. Давление воздуха над вогнутой поверхностью ниже атмосферного на величину ΔP :

$$\Delta P = 2\sigma/R,$$

где σ — поверхностное натяжение раствора;

R — радиус капилляра.

Под действием перепада давления ΔP раствор будет перемещаться в толщу пористой системы, причем глубина смачивания l будет определяться по формуле

$$l = \left(\frac{\sigma R \cos \theta}{2\eta} \right)^{1/2} \tau^{1/2}. \quad (4)$$

Скорость смачивания найдем, преобразовав предыдущую формулу:

$$U_s = A/\tau^{1/2}, \quad (5)$$

$$\text{где } A = \left(\frac{\sigma R \cos \theta}{\eta} \right)^{1/2}.$$

Из формулы (5) следует, что скорость пропитки будет снижаться со временем или с глубиной пропитки:

$$U_s = \frac{1}{l} \frac{\sigma R \cos \theta}{2\eta}. \quad (6)$$

В табл. 1 приведены расчетные значения параметров смачивания гидрофобных тканей водными растворами лаурилсульфата натрия. В табл. 2 пока-

Таблица 2. Влияние концентрации лаурилсульфата натрия на скорость смачивания ткани

Параметр	Концентрация C , % масс.				
	0,065	0,070	0,075	0,150	0,300
Время τ , с	200	100	51	10	4
Скорость U_s , мм/мин	0,3	0,6	1,2	6,0	215

зано влияние концентрации смачивателя на скорость смачивания на примере лаурилсульфата.

Определение минимальной концентрации смачивателя для тушения пожаров гидрофобных материалов

Вода практически не смачивает поверхность торфа, хлопка, угля и резинотехнических изделий. Поскольку краевой угол смачивания водой этих материалов больше 90° , то самопроизвольное смачивание и пропитка таких материалов невозможны. Поэтому они называются гидрофобными. Если в качестве модели гидрофобного высокодисперсного материала взять необработанную хлопковую ткань — саржу, то можно рассмотреть качественную картину влияния добавок смачивателей — поверхностно-активных веществ на характер взаимодействия раствора и гидрофобной поверхности.

Без добавок смачивателей капля или слой раствора будет находиться на поверхности ткани, практически ее не смачивая. По мере увеличения концентрации ПАВ форма капли будет меняться, а угол смачивания постепенно будет уменьшаться от $180\dots150$ до 90° . При достижении им 90° и менее произойдет качественное изменение состояния капли: она постепенно начнет растекаться по поверхности ткани и одновременно впитываться, проникая в поры ткани. Время прохождения раствором слоя ткани толщиной 0,5 мм составит 100…300 с, т. е. скорость пропитки очень мала — примерно

Таблица 1. Параметры смачивания гидрофобной ткани водными растворами лаурилсульфата натрия

Параметр	Глубина смачивания l , мм						
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	7,0	8,0
Время τ , с	4	8	12	16	40	52	76
Скорость смачивания U_s , мм/мин	15,0	15,0	15,0	15,0	9,0	7,8	6,0

0,0002 мм/с (0,2 мкм/с). При больших концентрациях смачивателя угол смачивания достигает 50...60°, при этом скорость смачивания резко возрастает — на 2...3 порядка, достигая 0,02...0,05 мм/с.

Таким образом, постепенное увеличение содержания ПАВ в растворе ведет к изменению состава смачивателя и тем самым приводит к инверсии смачивания, т. е. если концентрация ПАВ меньше концентрации инверсии смачивания (КИС), то раствор выталкивается из пор гидрофобной ткани, а если концентрация ПАВ больше КИС, то жидкость самопротивительно затекает в капилляры пористой системы. Поэтому КИС представляет собой минимальную предельную концентрацию смачивателя, при которой еще происходит смачивание ткани, но с очень низкой скоростью.

Характерная зависимость капиллярного давления смачивания ΔP_σ водного раствора от содержания ПАВ приведена на рис. 5. Участок кривой до $C = C_k$ получен путем вдавливания раствора за счет создаваемого перепада давления, а участок, соответствующий $C > C_k$, — путем компенсации внешним давлением капиллярного давления смачивания в порах ткани.

На графике величину C_k находили экстраполяцией прямых до пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения отвечает значению $\cos \theta = 0$ и $\theta = 90^\circ$, а превышение концентрации C над C_k ведет к уменьшению θ и к смачиванию поверхности.

В табл. 3 приведены результаты расчета смачивающей способности и критических концентраций мицеллообразования (ККМ), которые определяли по изомерам поверхностного натяжения. Наилучшей смачивающей способностью обладают растворы ПАВ — полиоксиэтилен (ПОЭ), а катионные соединения цетилпиридинийхlorида (ЦПХ) имеют самую высокую концентрацию инверсии смачивания и наихудшую смачивающую способность.

Вещества в табл. 3 расположены в порядке убывания смачивающей способности ω . Одновременно с ее снижением уменьшается и концентрация инверсии смачивания ткани.

Сопоставление числовых значений C_k и ККМ показывает, что растворы лаурилсульфата натрия (ЛСН) и ПО-ЗА начинают смачивать ткань при концентрациях наполовину меньших, чем ККМ, т. е. пропитка обеспечивается молекулярной адсорбцией. Для ПОЭ и ЦПХ смачивание наблюдается при концентрации в 4...5 раз выше ККМ и реализуется за счет адсорбции мицеллярных комплексов ПАВ.

Несмотря на одинаковый “мицеллярный механизм” смачивания, растворы ПОЭ обладают резко выраженной смачивающей способностью ($\omega = 118 \text{ моль}^{-1}$) в отличие от растворов ЦПХ ($\omega = 2,0 \text{ моль}^{-1}$).

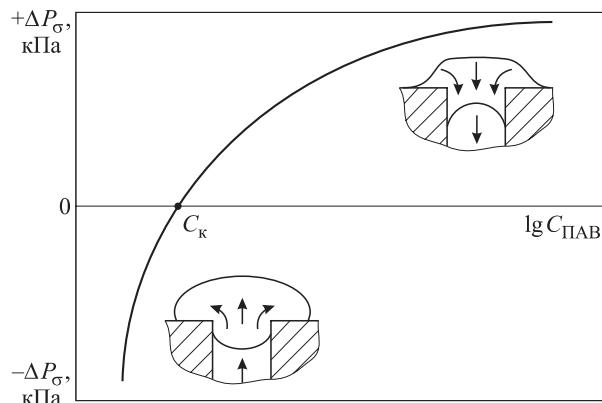


Рис. 5. Зависимость капиллярного давления смачивания пористого материала от концентрации поверхностно-активных веществ (C_k — концентрация инверсии смачивания)

Таблица 3. Смачивание гидрофобной ткани растворами ПАВ

ПАВ	ККМ, % масс.	Концентрация инверсии смачивания		$\omega^{**},$ моль $^{-1}$	C_k ККМ
		% масс.	ммоль/л		
ПОЭ (ОП-10)	0,012	0,046	0,66	118	3,80
ЛСН	0,230	0,125	4,30	18	0,54
ПО-ЗА* (пено-образователь)	0,400	0,186	0,20*	7,7	0,47
ЦПХ (катионное ПАВ)	0,050	0,250	7,30	2,0	5,00

* Молекулярная масса многокомпонентного состава принята равной 300.

** $\omega = (d \cos \theta / dC)_{C=C_k}$.

Абсолютное значение концентрации инверсии смачивания может быть использовано для определения оптимального содержания ПАВ в растворе смачивателя, используемого для пропитки горючих высокодисперсных систем (например, торфа, хлопка и тканых материалов). Впитывание раствора в капилляры дисперсной системы будет продолжаться все время, пока содержание ПАВ обеспечивает угол смачивания $\theta < 90^\circ$, что реализуется при $C > C_k$. Чем выше дисперсность материала, тем больше его удельная площадь поверхности. По мере пропитки раствор теряет молекулы ПАВ, которые адсорбируются на поверхности гидрофобной ткани, способствуя ее смачиванию и прониканию вглубь воды. Чем большую поверхность предстоит смочить, тем выше должна быть исходная концентрация смачивателя. Необходимое содержание ПАВ в смачивателе может быть определено по формуле

$$C_{\min} = C_k + \Gamma_0 S_{cm}, \quad (7)$$

где C_{\min} — минимальное содержание ПАВ в 1 л раствора смачивателя;

Γ_0 — предельная величина адсорбции;
 $S_{\text{см}}$ — суммарная площадь поверхности дисперсной системы, подлежащей смачиванию (пропитке).

Произведение $\Gamma_0 S_{\text{см}}$ отвечает потерям смачивателя (от исходной концентрации) при формировании мономолекулярного адсорбционного слоя в процессе протекания водного раствора. Если известна удельная площадь поверхности образца, то

$$\Delta C = \Gamma F_0 S_{\text{см}} = \Gamma_0 S_0 V, \quad (8)$$

где S_0 — удельная площадь поверхности;

V — объем системы.

При смачивании тканого материала с известной пористостью Ψ и средним радиусом ниток r формула (8) может быть представлена в следующем виде:

$$C = 2\Gamma_0 V / ((1 + \Psi)r). \quad (9)$$

Отсюда концентрация смачивателя в растворе составит:

$$C = C_k + 2\Gamma_0 V / ((1 + \Psi)r). \quad (10)$$

Уравнения (6) и (7) отражают потенциальную возможность смачивания, но не дают представления о кинетике процесса пропитки. Для описания кинетики смачивания пористого материала при заданном режиме необходимо иметь структурную характеристику дисперсной системы (величины Ψ и S_0): для тканых материалов диаметр нитей d или средний радиус пор $r_{\text{ср}}$ и их длину l ; средний диаметр и длину частиц для образцов типа торфа, а также адсорбционные параметры ПАВ (максимальную адсорбцию и смачивающую способность, поверхностное натяжение и вязкость раствора).

Расчетное соотношение базируется на следующих положениях. В процессе пропитки за счет обеднения раствора по ПАВ изменяется угол сма-

чивания от начального ($\cos \theta_s$) до минимального ($\cos \theta_f$) значения, при котором еще обеспечивается заданный режим смачивания (зависимость скорости пропитки от времени). Изменение ($\cos \theta$) обусловлено потерями молекул ПАВ и может быть выражено с учетом (5) и (6) соотношением

$$\Delta \cos \theta = \omega \Delta C = \omega V \Gamma_0 S_0 = \omega [2V\Gamma_0 / (1 + \Psi)]. \quad (11)$$

Начальное значение угла смачивания определяется исходной концентрацией ПАВ:

$$\cos \theta_s = \omega C. \quad (12)$$

Минимальный краевой угол смачивания, обеспечивающий режим смачивания с линейной скоростью U_l , получен из формулы (8):

$$\cos \theta_f = 2U_l l \eta / (r \sigma). \quad (13)$$

По условию смачивание со скоростью U_l будет иметь место, если косинус угла смачивания будет не ниже $\cos \theta_f$, т. е.

$$\cos \theta_s - \cos \theta = \cos \theta_f. \quad (14)$$

Учитывая выражения (11), (12) и (13), получим формулу, связывающую концентрацию смачивателя с кинетическими и адсорбционными параметрами раствора и дисперсной системы:

$$C_s = \frac{2U_l l \eta}{r \sigma \omega} + \frac{2V\Gamma_0}{r(1 + \Psi)} \quad (15)$$

или

$$U_V = \frac{(1 + \Psi)(C \omega \sigma r - 2U_l l \eta)}{2\Gamma_0 \omega \sigma r}. \quad (16)$$

По формуле (16) можно оценить объем дисперсной системы, которая может быть пропитана раствором с известной концентрацией при заданном режиме пропитки.

Материал поступил в редакцию 22 марта 2011 г.

Электронный адрес авторов: vss62@mail.ru.



И. М. Абдурагимов
д-р техн. наук, профессор, академик НАНПБ,
полковник внутренней службы

УДК 614.842.8

НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Своевременное обнаружение и тушение интенсивных верховых лесных пожаров на ранней стадии остается актуальной проблемой пожарной охраны всех стран мира. В статье предложен новый, более эффективный способ их тушения за счет использования синергетического эффекта от совмещения двух неэффективных способов тушения — с помощью “крылатых пожарных”, выбрасываемых в лесную глуши с самолета без средств пожаротушения, и доставки личного состава к очагу пожара с обеспечением его огнетушащими средствами (водой) с вертолета в режиме летания. Если этот совмещенный способ тушения пожаров будет реализован, он может быть признан в мире как “новый русский способ тушения лесных пожаров”.

Ключевые слова: верховой лесной пожар; торфяной пожар; пожаротушение; пожарная безопасность; физика горения и тушения древесины.

Актуальность проблемы

В XVIII–XIX веках проблемные статьи модно было начинать словами “В наш просвещенный век...”. В XX веке многие статьи начинались так: “В наш век небывалого могущества человечества (или науки)...”.

А теперь непонятно, как и начинать статью о современных технических (или технологических) проблемах, тем более в такой прозаической сфере нашей жизни, как пожарная безопасность. Но о том, что эта “прозаическая мелочь” — чрезвычайная проблема, наиболее убедительно говорят цифры, конкретнее цифры гибели людей по причинам, связанным с пожарами, и особенно лесными пожарами последних лет, бушевавшими во многих странах мира.

Возьмем цифры только по России и только за 2010 г. Прямыми жертвами от “природных” (лесных и торфяных) пожаров в 2010 г., как сообщалось в средствах массовой информации, значились по всей России около 50–60 чел. (цифра неправдоподобно низкая). Позже [1] была озвучена цифра 55 800 чел. (цифра на удивление большая), но и она не окончательная, потому что последствия пожара явились косвенной причиной смерти пострадавших, и это еще будет продолжаться длительное время.

Но если к этим цифрам прибавить еще и среднестатистическую цифру ежегодных жертв пожара в России — порядка 20–30 тыс. чел., итог получается ужасающий, почти 80–90 (а то и все 100!) тыс. чел. только за 2010 г.

Одним из первых, кто признал чрезвычайной государственной проблемой борьбу с пожарами и взрывами за последние 50 лет, был Конгресс США, принявший в связи с этим закон № 93-498 [2] 29 октября 1974 г. Тогда США впервые признали, что вышли на первое место в мире по числу ежегодных человеческих жертв от пожаров и взрывов (12 тыс. чел., а помимо этого, еще 300 тыс. пострадавших, включая 50 тыс. чел., нуждающихся в продолжительной госпитализации) и по размеру материального ущерба (более 11 млрд долл. в год). Причем численность населения США в те годы была порядка 240 млн чел.

В СССР в те годы примерно при той же численности населения (~250 млн чел.) по официальной статистике число жертв от пожаров едва достигало 3,5–4,0 тыс. чел. в год (т. е. почти в 3 с лишним раза меньше, чем в США).

Приняв, кроме закона № 93-498 [2], целый ряд законодательных актов, создав специальные службы в пожарной охране и системе здравоохранения, затратив сотни миллионов долларов, американцы добились постепенного, но неуклонного снижения числа человеческих жертв от пожаров и взрывов и размеров материального ущерба. В последние годы им удается сдерживать эти потери на уровне 3,5–4,5 тыс. чел. в год (как в СССР в те далекие годы). Для сравнения, в России при современной численности населения около 140 млн чел. фактическое число жертв от пожаров и взрывов даже по официальным данным превышает цифру порядка 15–20 тыс. чел. в год,

© Абдурагимов И. М., 2011

т. е. в относительном выражении (на 1000 чел. в год) гибель от пожаров и взрывов в России на данном этапе в 7–8 раз выше, чем в США*. Эти цифры позволяют предположить, что теперь Россия вышла на первое место в мире по числу человеческих жертв от пожаров и взрывов (особенно от пожаров). И с течением времени эта ситуация все больше обостряется.

Кстати, проведенный в 70-х годах прошлого века цикл замечательных диссертационных исследований в ВИПТШ МВД СССР, работы Н. Н. Брушлинского, А. И. Фурсова, Ю. И. Аболенцева и др., носившие прогностический характер, однозначно предсказывали монотонный, но неуклонный рост числа человеческих жертв и материального ущерба с течением времени почти для всех стран мира, попавших в их сферу исследований.

Почти для всех стран эти прогнозы в той или иной степени сбылись, кроме США и России. В первом случае в этих диссертациях не могли быть предусмотрены такие радикальные законодательные меры и огромные капитальные затраты на повышение пожарной безопасности, какие были осуществлены в США. Во втором случае никто в мире не мог предвидеть таких радикальных политических, социальных и экономических потрясений, какие произошли в нашей стране за последние 20 лет. Из приведенных выше данных следует, что для России проблемы повышения пожарной безопасности имеют еще большее значение, чем для всех других стран мира.

Специалистам пожарной охраны известно, что в принципе существует только два радикальных способа повышения пожарной безопасности:

1) *профилактика пожаров* — главное и основное направление повышения ПВБ, очень дорогое, очень сложное, многоплановое и трудоемкое; самое эффективное, но зависящее от множества факторов, мало зависящих от усилий пожарной охраны;

2) *борьба с пожарами* (уже после факта их возникновения) — это последний рубеж пожарной охраны, последний этап борьбы, чрезвычайно сложный и жизненно опасный (недаром законом № 93 Конгресса США профессия пожарного признана самой опасной профессией в мирное время). Но, к сожалению, именно с эффективностью тушения большинства видов пожаров дело обстоит особенно плохо, причем именно так оно обстоит практически во всех странах мира.

* Если в России применять методы статистического учета жертв пожаров, как в США, относительное число ежегодных жертв пожаров в России будет выше, чем в Штатах, в 10–15 раз и более! В России число пострадавших обычно равно числу погибших или даже меньше, а число нуждающихся в длительной госпитализации вообще не регистрируется (это другое ведомство) или, по крайней мере, не публикуется.

История лесных пожаров, роль профилактики и “человеческого фактора”

Лесные и торфяные пожары — самый древний вид пожаров на земле. Они возникали и с переменной интенсивностью развивались еще за миллионы лет до появления человека. Интенсивность их развития зависела в основном от погодных условий, и при снижении температуры и с началом сезона дождей они естественным образом затухали.

С появлением на земле человека, и тем более после покорения им огня, лесные пожары стали возникать в сотни, если не в тысячи раз чаще. Так было, так есть и так будет еще очень долгое время. Поэтому актуальность проблемы борьбы с лесными пожарами не уходит с годами, а возрастает и обостряется по мере роста народонаселения планеты.

Огромную роль в частоте возникновения и масштабах лесных пожаров играет культура лесопользования и профилактика лесных пожаров. Но это весьма специфическая и дорогостоящая область деятельности человека. Совсем немногие из числа лесообицких стран мира имеют достижения в этой области, например Финляндия и, возможно, некоторые другие скандинавские страны. Однако область охраны и защиты лесов настолько специфическая, многотрудная и высокозатратная, что оставим этот вопрос для специалистов лесного хозяйства.

Лесные пожары возникают во всех странах мира с досадной частотой и регулярностью, поочередно в той или иной стране мира, в зависимости от климатических и погодных условий. Возможности тушения лесных пожаров во всех странах мира практически ничтожны из-за сложности их тушения и неэффективности самих методов тушения, поэтому чаще всего пожары продолжаются до изменения погодных условий.

В России за последние 100 лет годы, когда бушевали мощные и продолжительные пожары, случались более 10–15 раз.

Одним из чрезвычайно сложных в пожарном отношении был для России 1915 год. Тогда только в Сибири полностью погибло более 14 млн га продуктивных лесов при общей территории лесов порядка 160 млн га. Это фантастическая цифра — 8,5 %(!) общей территории лесов страны. Торфяные пожары в Сибири в тот год продолжались до снега (как, впрочем, и в Московской области: начавшиеся в 2010 г. на отдельных участках торфяные пожары продолжались до февраля 2011 г.). Затем, с переменной интенсивностью, они охватывали то Восточную, то Западную Сибирь. В другие годы они бушевали на Урале или в Алтайском крае, потом почти полностью выгорели лесные массивы Сахалина (выгорели до такой степени, что Юнеско

признало эти пожары экологической катастрофой года).

На памяти нынешнего поколения россиян страшные лесные и торфяные пожары охватили юго-восток страны. Тогда от них сгорели почти все стратегические склады боеприпасов вдоль всей российско-китайской границы. И все противопожарные силы, включая все силы Министерства обороны, не могли сохранить их от уничтожения огнем лесных, степных и торфяных пожаров (а это были годы не самых дружественных отношений с Китаем).

Многие помнят и страшные лесные и торфяные пожары в Московской области в 1972 г., когда россияне поневоле вспомнили заглавие книги Джона Рида о послереволюционной России “Россия во мгле”. Действительно, 5–6 дней вся Москва и Московская область в тот год находились почти в сплошной мгле от дыма лесных и торфяных пожаров.

Что особенно удивительно и трудно поддается объяснению с точки зрения физики горения лесных горючих материалов, так это то, что такие же грандиозные пожары, но несколько реже, случаются и во влажных тропических лесах Амазонии, Индии, Индонезии и других стран с влажными, непроходимыми тропическими джунглями, где в некоторые неблагополучные годы лесные пожары уничтожали десятки и даже сотни тысяч гектаров леса.

Однако наиболее поучительные с точки зрения беспомощности человека перед стихией лесных пожаров были пожары 2007–2010 гг., которые поочередно бушевали в разных странах мира на разных континентах Земли. Это пожары в Австралии и Греции, в Португалии и Центральной Европе, в Калифорнии, России и Израиле. Во всех этих странах поочередно выгорали тысячи гектаров леса, сгорали отдельные дома и целые поселки. Пожар грозил многим городам, десятки и даже сотни тысяч жителей в аварийном порядке эвакуировались, переселялись из пожароопасных зон.

В разных странах это происходило по-разному, но во всех были человеческие жертвы, а ущерб исчислялся миллиардами долларов... Объединяло все эти страны еще одно — беспомощность людей перед грозной стихией лесного пожара. Ни в одной из них никакими силами не удавалось своевременно остановить фронт огня на желаемом рубеже и тем более потушить пожар во всем регионе.

В Австралии погибли редчайшие реликтовые леса; в Греции досрочно лишили полномочий правительство Георгия Караманиса; в Калифорнии “могучий терминатор”, губернатор края Арнольд Шварценеггер беспомощно взывал о помощи; в России министр МЧС давал бессмысленные, несостоительные обещания [1, 2]. А пожары продолжали бушевать с большей или меньшей интенсивностью, в за-

висимости, главным образом, от погодных условий. Их удавалось в какой-то мере взять под контроль, только когда температура в регионе снижалась и хоть слегка повышалась влажность. Тушения этих пожаров чаще всего удавалось достичь только тогда, когда спадала жара и начинались хотя бы слабые дожди.

Примерно так обстояли дела с тушением лесных пожаров не только там, где для этих целей применялись обычные наземные средства тушения пожаров, но и там, где использовалась авиация, причем любые ее виды: грузовые самолеты типа Боинг-747 и Ил-76, самолеты-амфибии и гидропланы типа Бе-200, Канадэйр-14 и др.; вертолеты большие (типа Ми-26) и средние (типа Ми-17 и Ка-32) и многие другие летательные аппараты (включая Ан-2 и Ми-8).

В статье “Пожар тушат всем миром” с подзаголовком “Россияне залили Израиль” [3] писали: “На просьбу израильского правительства откликнулись спасатели из тридцати стран мира. В том числе от России... шесть единиц авиатехники: два Ил-76, два Бе-200 и два вертолета Ми-26. Кроме того, в Израиль прибыла и большая команда специалистов по тушению пожаров... Плюс к этому “12 кукурузников” (это замечательные советские самолеты Ан-2) израильской сельхозавиации, выполнявшие по совместительству роль воздушных пожарных, не в силах справиться с распространявшейся со скоростью несколько десятков километров в час стеной пламени...” (это пример классического верхового или свального лесного пожара, который имеет локальную скорость распространения временами до 20–30 м/мин и более!).

Эта статья очень правдиво отражает истинную картину “тушения” лесных пожаров. “Именно благодаря усилиям и опыта российских специалистов распространение пожара удалось значительно локализовать и не допустить его распространения на жилые районы Хайфы”. Не “потушить”, а именно “локализовать”, т. е. остановить распространение огня! Потому что “потушить” такой пожар в принципе невозможно, как будет показано далее. Его достаточно “локализовать”, что само по себе чрезвычайно сложно. А дальше — пусть лес выгорает, пока его пламенное горение не прекратится само по себе, тем более что это может продолжаться всего 2, максимум — 3 часа. Затем следует “пролить”, дотушить уже только тлеющие очаги лесного пожара. Тактически это очень правильно. И еще, это редкий вариант статьи, где о тушении лесных пожаров сказана правда: “Выявились и проблемы. Огонь, успешно локализованный дневными вылетами, к ночи вновь оказывался хозяином положения. И к утру отвоевывал утраченные за день позиции” [3], т. е. пожар че-

рез 2–3 часа “забывал” об имевшем место “тушении” и из режима тления вновь переходил в режим пламенного горения. Этот процесс физически описан в следующем разделе статьи. Более того, “потушенный” в лесах на территории Израиля лесной пожар на следующий день возник в приграничных с Израилем лесных массивах Ливана.

Из сказанного очевидно, что эффект тушения очень мало зависит от количества применяемой авиации и “тысяч тонн вылитой с самолетов воды”, потому что такой способ тушения лесных пожаров неэффективен: коэффициент эффективного использования воды при подаче ее с самолета менее 1 %. При таком способе тушения в лучшем случае можно “локализовать” (причем на время), но не потушить лесной пожар.

Физика горения древесины и особенности лесных пожаров

Сложность и очень низкая эффективность всех существующих приемов и способов тушения лесных пожаров объясняется физикой горения твердых горючих материалов (ТГМ) типа древесины и других лесных горючих материалов и особенно физикой их тушения. У торфяных пожаров есть и другие специфические особенности, которые следует рассматривать отдельно. Древесина относится к горючим материалам, способным гореть в двух характерных и существенно различающихся режимах:

1) в режиме *гомогенного* (пламенного) горения, когда над поверхностью прогретой до 250–300 °C древесины горит смесь продуктов ее пиролиза с воздухом;

2) в *гетерогенном* (беспламенном) режиме, когда из поверхностного слоя прогретой до 500–700 °C древесины толщиной 1,5–2,0 см все продукты пиролиза уже выгорели, выхода летучих веществ недостаточно для образования над поверхностью древесины горючей газовоздушной смеси, а оставшийся угольный слой (углеродистый остаток) прогрет до температуры 700–800 °C. Тогда за счет диффузии кислорода воздуха (происходящей под действием естественной конвекции нагретого воздуха или воздушных потоков ветра) начинается гетерогенный режим беспламенного горения углерода — тление.

Эти два режима могут следовать один за другим (причем в любой последовательности), идти одновременно или чередуясь, в последовательно-параллельном режиме. Это зависит от вида древесины, ее толщины, влажности, температуры, расположения в пространстве и особенно от расположения горящих фрагментов древесины относительно друг друга (одиночные вертикальные стволы и ветки; горизонтальные или наклонные ветки дерева; плотно, близко друг к другу расположенные или на расстоя-

нии 0,5–1 м и более; сваленные в кучу на поверхности земли). Кроме того, это зависит от температуры и влажности воздуха и интенсивности воздушных потоков (скорости ветра).

Сложеные в кучу (в виде костра) фрагменты древесины могут гореть сколько угодно долго в совместном гомогенно-гетерогенном режиме, пока не выгорит почти весь горючий материал. В кострище по периферии останутся только одиночные тлеющие головешки. Но пока тепловое взаимодействие горящих фрагментов древесины будет обеспечивать в совместном кондуктивно-конвективном и лучистом теплообмене тепловой поток к поверхности горения фрагментов древесины, процесс горения будет продолжаться непрерывно почти до полного выгорания горючего материала. Однако в лесу горючий материал, кроме лесной подстилки (стволы деревьев, ветки, листья, хвоя и пр.), рассредоточен в пространстве на высоту до 25–35 м. В связи с этим для любой по величине горючей нагрузки российских лесов в диапазоне от минимальной (10–20 кг/m²) до максимальной (300–350 кг/m²), не считая массы лесной подстилки, средняя объемная плотность горючего материала сравнительно невелика — 5–15 кг/m³. Поэтому после первых 20–25 мин интенсивного пламенного горения, когда огнем полностью охвачен весь горючий материал на данном участке лесного массива, все тонкие горючие элементы (листва, хвойники, тонкие ветки, прутики, сучья и пр.) в основном успевают сгореть полностью. Пламенным горением могут продолжать гореть только ветки и стволы толщиной (или диаметром) более 4–5 см. Средняя скорость выгорания лесной древесины в зависимости от толщины и породы древесины, условий и режима горения колеблется в диапазоне 0,5–1,0 м/мин. Поэтому ветки толщиной менее 1–2 см через 20–25 мин сгорят полностью, а более толстые (диаметром более 4–5 см) будут гореть в чередующемся (пламенно-беспламенном) режиме, так как образующийся на поверхности горящей древесины угольный слой толщиной 1–2 см обладает низкой теплопроводностью и не допускает теплового потока от зоны пожара к внутренним слоям древесины. Тем более что и объемная плотность горючего материала через 20–25 мин с начала пожара резко снижается; огонь становится менее плотным, несплошным. Тепловой поток к горящим элементам древесины уменьшается до $q_{\text{пред}} < 10 \div 15 \text{ кДж/(м}^2\cdot\text{с)}$; температура внутренних слоев древесины снижается до 200 °C и менее, и процесс пиролиза горючего материала временно (на 5–15 мин) прекращается. Однако продолжается интенсивное тление обгоревших стволов и веток. Углеродный слой с поверхности древесины выгорает, толщина его при этом уменьшается до 3–5 мм. Его “теплоизолиру-

иющее” действие, соответственно, также снижается. В результате тепловой поток от продолжающегося лесного пожара к внутренним слоям древесины возрастает. Температура этих слоев снова повышается до 250–300 °C, вновь возникает процесс пиролиза внутренних слоев древесины, интенсифицируется выход летучих продуктов пиролиза, над поверхностью древесины снова образуется парогазовоздушная горючая смесь, и ветки опять вспыхивают открытым пламенем. Этот режим пламенного горения может продолжаться еще 15–20 мин, а затем вновь перейдет в режим тления. Такое чередование пламенного горения и тления на каждом конкретном участке лесного массива может повторяться до 3–5 раз.

Однако с каждым разом среднеобъемная плотность горючего материала в единице объема горящего лесного массива становится все ниже и ниже. Соответственно, все менее интенсивным становится и процесс взаимного теплового обмена горящих фрагментов лесного пожара. Расстояние между горящими элементами дерева увеличивается до 0,5–1,0 м и более. Суммарный тепловой поток от зоны горения к горящей поверхности древесины становится ниже $q_{\text{пред}} \approx 10 \div 15 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, и пламенное горение на этом участке леса становится невозможным. Горение переходит в режим медленного тления.

В зависимости от вида (породы) древесины, возраста, плотности леса, погодных условий и ряда других обстоятельств продолжительность пламенного горения лесного пожара колеблется от 5–15 мин до 2–3 ч. После этого наступает длительный процесс горения лесного пожара в режиме тления. В зависимости от тех же условий и обстоятельств эта стадия пожара может длиться еще в течение нескольких часов, после чего горение древесины, как правило, прекращается. Недаром в народе существует присказка: “Одно полено и в печи не горит, а два — и в поле тлеют”. Именно поэтому горючий материал лесного массива почти никогда не выгорает полностью. В лесных гарях, на пожарище до 50 % горючего материала остается несгоревшим. Одинокие голые стволы деревьев стоят в виде конических обгоревших, обугленных вертикальных столбов, которым для полного сгорания не хватило теплового взаимодействия с соседними стволами. В зависимости от погоды рано или поздно их горение прекращается само по себе. Процесс пламенного горения лесной подстилки, где горючий материал лежит в виде значительно более плотной массы, чем в пологе леса, может быть более длительным, а процесс тления — продолжаться в течение суток и даже нескольких недель.

Изложенное выше детальное представление о физике горения ТГМ типа лесной древесины позволяет понять наиболее рациональную схему физической картины тушения горящей древесины.

Физика тушения древесины и расчет количества воды, требуемой на процесс тушения

Наиболее эффективным механизмом тушения пожара горящих ТГМ, в том числе лесной древесины, является механизм охлаждения ее до температуры ниже начала пиролиза. Наиболее полно этот механизм тушения описан и впервые количественно рассчитан в работах [3–6, 10].

Из этих работ следует, что для полного прекращения горения ТГМ нужно снизить температуру их горящей поверхности $t_{\text{др}}$ до температуры ниже начала пиролиза $t_{\text{пир нач}}$ (термического разложения) данного горючего материала. Для древесины любого вида и любой породы она составляет примерно 200–250 °C. При $t_{\text{др}} < t_{\text{пир нач}}$ пиролиз полностью прекратится и, следовательно, завершится выход с поверхности горючего материала горючей парогазовой смеси, а значит, прекратится образование над ней горючей парогазовоздушной смеси и, как следствие, пламенное горение.

При этом одновременно станет невозможным и беспламенное горение — тление. Поскольку мы охлаждаем поверхность (и внутренние слои) древесины до температуры порядка 200–250 °C, то тление древесины становится просто невозможным. Значит, процесс ее горения во всех его видах и формах будет при этой температуре прекращен полностью. Расчеты, впервые приведенные в работах [3, 4, 10], показали, что для охлаждения горящей поверхности древесины на площади горения 1 м² требуется всего 0,5 л воды, т. е. удельный расход воды для прекращения процесса горения $V_{\text{в}}^{\text{уд}} \approx 0,5 \text{ л}/\text{м}^2$. Однако для надежного тушения пожара поверхность древесины лучше охладить до температуры порядка 20 °C, поскольку при температуре 200–250 °C она может вновь загореться даже от слабого внешнего источника зажигания.

Мировой опыт тушения пожаров показывает, что лучше всего это делать с помощью воды. У нее высокая удельная теплоемкость и очень высокая теплота испарения, поэтому, испаряясь с поверхности горящей древесины, она отнимает много тепла. Но для охлаждения древесины до 20 °C требуется уже 0,7 л/м². А главное, для того чтобы добиться этого в кратчайшее время ($\tau_{\text{охл}} \approx 1 \div 2 \text{ мин}$), на поверхность горящей древесины следует подать воду в количестве, достаточном для пропитки ее поверхностного слоя до насыщения, а это еще дополнительно около

$0,8 \text{ л}/\text{м}^2$. В итоге потребуется воды $V_{\text{в}}^{\text{уд}} = 0,7 + 0,8 = 1,5 \text{ л}/\text{м}^2$.

Однако термически толстая древесина имеет толщину $\delta > 2\delta_{\text{пр.сл}}$, где $\delta_{\text{пр.сл}}$ — толщина слоя горящей древесины, прогретого до $t_{\text{др}} \geq t_{\text{нач.пир}}$, равная 1,5–2,0 см. Значит, для стабильного, устойчивого горения древесины толщиной более 4–5 см нужно взаимное тепловое воздействие горящих поверхностей. В физике горения это называется коэффициентом поверхности горения $K_{\text{п}}$, который определяется отношением суммарной площади поверхностей горения к единичной площади горения отдельного элемента. Обычно при пожарах ТГМ $K_{\text{п}} = F_{\Sigma}/F_{\text{o}} = (3 \pm 0,5)$.

В начальной стадии лесного пожара величина $K_{\text{п}}$ намного больше (пока горят листья, хвойники, тоненькие веточки и пр.), но на момент тушения, т. е. через 20–25 мин горения лесного пожара, когда все тонкие горючие материалы сгорели полностью, $K_{\text{п}}$ редко превышает указанное значение. Поэтому, соответственно, и удельный расход воды увеличивается примерно в 3 раза, т. е. $V_{\text{в}}^{\text{уд(расч)}} = V_{\text{в}}^{\text{уд}} K_{\text{п}} = 1,5 \cdot 3 \approx 5 \text{ л}/\text{м}^2$, что составляет минимальное расчетное количество воды, необходимое для тушения лесного пожара на площади 1 м^2 (около 5 л). Однако из-за потерь воды в процессе тушения расход ее на тушение пожара резко возрастает, нередко в 5–10, а иногда и в 20–30 раз. В связи с этим рассмотрим главные виды потерь воды в процессе тушения реального пожара.

Оценка величины потерь воды при тушении пожара ТГМ

Если минимальный удельный расход воды на площади поверхности горения $V_{\text{в}}^{\text{уд}} = 1,5 \text{ л}/\text{м}^2$, то это означает, что толщина слоя одномоментно поданной воды $\delta_{\text{в}} \approx 1,5 \text{ мм}$. Слой воды такой толщины даже на плоской горизонтальной поверхности удержать практически невозможно — она будет самопроизвольно стекать с поверхности древесины (обычно при $\delta_{\text{в}} > 0,3 \div 4 \text{ мм}$ она начинает стекать даже с горизонтальной поверхности).

Как показали исследования А. П. Емельянова [7], на необгоревшей гладкой вертикальной поверхности древесины $\delta_{\text{в}} < 0,12 \text{ мм}$, а на обугленной вертикальной поверхности древесины $\delta_{\text{в}} < 0,18 \div 0,2 \text{ мм}$ (в зависимости от характера обугливания, породы древесины, состояния поверхности и пр.).

Кроме того, согласно исследованиям А. С. Андросова и Н. В. Лободы [8] расчетное время охлаждения прогретого слоя обугленной древесины от $t_{\text{max}} \approx 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{нач}} \approx 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ колеблется в пределах $\tau_{\text{охл}} \approx 30 \div 40 \text{ с}$ (в зависимости от породы древесины, степени переугливания выгоревшего слоя, его толщи-

ны и других обстоятельств можно принять $\tau_{\text{охл}} \leq 50 \text{ с}$). Учитывая, что расчетный удельный расход воды на единицу площади тушения пожара $V_{\text{в}}^{\text{уд(расч)}} \approx 5 \text{ л}/\text{м}^2$, а оптимальное время ее подачи $\tau_{\text{туш}} \approx \tau_{\text{охл}} \approx 50 \text{ с}$, мы получим численное значение такого важнейшего параметра процесса тушения пожара ТГМ, как нормативная интенсивность подачи воды на тушение $J_{\text{н}}$: $J_{\text{н}} = V_{\text{в}}^{\text{уд(расч)}} / \tau_{\text{туш}} = 5/50 = 0,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Эта величина многократно проверена на практике тушения пожаров ТГМ и принята за нормативную в большинстве стран мира. Она в значительной степени определяет долю потерь воды при тушении пожаров ТГМ, особенно лесных пожаров. При меньшей интенсивности подачи воды в очаг пожара ТГМ не будет охлаждаться с требуемой интенсивностью, время тушения пожара начнет возрастать и, соответственно, будет возрастать расход воды на тушение пожара и требуемое ее количество на завершение процесса тушения. Если превысить нормативную интенсивность подачи воды $J_{\phi} > J_{\text{н}}$, резко возрастет толщина слоя воды на протушиваемых поверхностях древесины и, соответственно, скорость ее стекания с протушиваемых поверхностей (особенно с вертикально расположенных поверхностей, как при тушении лесных пожаров). Это еще больше увеличит потери воды в процессе тушения пожара ТГМ. Кроме того, потери воды возрастают из-за невозможности подачи воды на некоторые скрытые поверхности горения, неодновременности подачи воды на весь очаг горения, от пролива части подаваемой воды мимо очага горения (особенно при тушении лесных пожаров сбросом воды с летящего самолета) и по многим другим причинам. Поскольку все требования соблюдения оптимальных параметров подачи воды в очаг пожара возрастают по мере роста площади пожара, во многих специальных исследованиях [5–10] показано, что доля потерь воды $V_{\text{в}}^{\text{уд(пож)}}$ ($\text{л}/\text{м}^2$) увеличивается почти пропорционально площади пожара (точнее площади тушения):

$$V_{\text{в}}^{\text{уд(пож)}} \approx V_{\text{в}}^{\text{уд(расч)}} + 0,5F_{\text{п}} \approx 5 + 0,5F_{\text{п}}.$$

Следовательно, требуемый запас воды $V_{\text{в}}^{\Sigma}$ (л) возрастает пропорционально квадрату площади тушения:

$$V_{\text{в}}^{\Sigma} = V_{\text{в}}^{\text{уд(пож)}} F_{\text{п}} = 5F_{\text{п}} + 0,5F_{\text{п}}^2.$$

Это еще одно доказательство целесообразности тушения всех видов пожаров ТГМ, а лесных пожаров в особенности, на самых ранних стадиях их развития, когда площадь пожара и, соответственно, площадь тушения сравнительно малы. Вот почему фактор времени становится главным в проблемах тушения лесных пожаров.

Специфические проблемы тушения лесных пожаров

Главные специфические проблемы тушения лесных пожаров сводятся к следующим:

1) своевременность обнаружения первичного очага пожара, особенно когда площадь охраняемых лесных массивов измеряется сотнями тысяч гектаров;

2) экстренная мобилизация необходимых сил и средств для тушения пожара и своевременная доставка их к очагу пожара, нередко расположенного в десятках, а иногда и в сотнях километров от мест дислокации этих сил и средств;

3) отсутствие, как правило, необходимой специальной техники (вообще) и средств тушения (воды) в требуемых количествах в районе очага пожара;

4) труднодоступность многих территорий, где возникают лесные пожары; отсутствие подъездных дорог, средств связи и других средств коммуникации;

5) как следствие, проблемность своевременного привлечения дополнительных сил и средств для тушения пожара;

6) численное значение упомянутого выше (в п. 1, 2 и 4) понятия “своевременности”. Требуемая допустимая величина этого времени измеряется от 30–50 мин до 1 ч (большая величина приводит к тому, что техническая и тактическая задача тушения лесного пожара в ряде практических важных случаев превращается в проблему);

7) горючий материал в лесу, как правило, более или менее однороден, рассредоточен по площади лесного массива сравнительно равномерно и чаще всего — “безгранично” (в масштабах допустимой площади пожара), т. е. на сотнях, тысячах гектарах лесного массива.

Последние три обстоятельства, приведенные в последнем пункте, способствуют тому, что пожар из точки его возникновения (чаще всего на поверхности земли или на небольшой высоте $h_{\text{top}} < 1 \text{ м}$) распространяется с равномерной скоростью во все стороны. И особенно быстро вверх, до высоты расположения горючего материала (обычно до 2–3 м — это так называемые низовые пожары), и дальше распространение происходит по круговой форме почти на “безграничное” пространство. Тогда площадь пожара примерно равна площади круга радиусом R_{n} , равным пути, пройденному огнем за время горения (время распространения пожара), т. е. площадь пожара $F_{\text{n}} (\text{м}^2)$ на любой момент времени можно количественно оценить по формуле площади круга:

$$F_{\text{n}} = \pi R^2 = \pi (V_{\text{p}} \tau_{\text{p}})^2,$$

где V_{p} — скорость распространения лесного пожара, $\text{м}/\text{мин}$;

τ_{p} — время его свободного распространения, мин.

Величина V_{p} — одна из самых трудно определяемых, лежащих в широком диапазоне значений — от 0,5 до 3–5 $\text{м}/\text{мин}$.

Если за “шаг” расчетного времени условно принять время “первичного” пламенного горения горючего материала лесного пожара $\tau_{\text{p}} = 20 \text{ мин}$, то расчетная площадь первичного очага пожара на 20-й минуте может колебаться в огромных пределах:

$$F_{\text{n}}^{\min} \approx 320 \text{ м}^2 \text{ (с радиусом площади горения } \sim 10 \text{ м);}$$

$$F_{\text{n}}^{\text{ср}} \approx 12000 \text{ м}^2 \text{ (с радиусом площади горения } \sim 60 \text{ м);}$$

$$F_{\text{n}}^{\max} \approx 32000 \text{ м}^2 \text{ (с радиусом площади горения } \sim 100 \text{ м),}$$

т. е. может разниться примерно в 100 раз, в зависимости от условий горения и скорости распространения пожара V_{p} .

Площадь пожара зависит от вида и густоты распределения горючего материала, его влажности, геометрических размеров горючих материалов, температуры и влажности воздуха и других параметров и условий развития лесного пожара. И это в безветренную погоду. При наличии же ветра и его скорости всего 2–3 $\text{м}/\text{с}$ характер площади пожара начнет приобретать выраженную форму эллипса, вытянутого вдоль направления ветра (где будет более ярко выраженный фронт распространения пожара), а площадь пожара будет значительно больше, так как возрастет скорость распространения огня по направлению ветра.

К 40-й минуте площадь пожара будет, соответственно, в 4 раза больше рассчитанных выше значений. А если в центре зоны пожара за счет чередования режимов пламенного горения и тления и через 1 ч после его возникновения горение будет еще достаточно интенсивным, то площадь пожара, соответственно, в 9–10 раз превысит вычисленные выше значения, т. е. $F_{\text{n}}^{\min} \approx 3200 \text{ м}^2$; $F_{\text{n}}^{\max} \approx 320000 \text{ м}^2$.

Тушение лесного пожара средней площади $F_{\text{n}} \sim \sim 12000 \text{ м}^2$ подручными средствами, включая заплечный ранец с 20 л воды или раствора огнетушителя, даже группой в составе 6–8 чел. — задача чрезвычайно трудная. Ведь после исчерпания запаса воды 20 л, который имеет каждый боец (а в сумме около 150–160 л), останется только прибегнуть к предписанному официальной инструкцией по тушению низовых лесных пожаров “методу захлестывания; затаптывания (сапогами) и окапывания” лесного пожара в тайге саперными лопатками (даже если их всего 8 шт.!) при периметре фронта пожара порядка 400 м! (т. е. примерно по 50 м на человека!), а это задача практически невыполнимая. Тем более что за время этого окапывания пожар уйдет по фронту еще на 100 м, а на нормальный процесс тушения пожара на такой площади ($F_{\text{t}} \approx 12000 \text{ м}^2$) требуется как ми-

нимум 50–100 т воды. И это при условии начала тушения пожара через 20 мин после его возникновения. Но надо еще доставить отряд пожарных из 6–8 чел. к очагу пожара через 20 мин после его возникновения, а это проблема чрезвычайно сложная.

С пожаром на площади 200–300 м² еще можно справиться отряду из 10–12 чел., но с чрезвычайным напряжением сил. А вот тушение более серьезного пожара без спецтехники — задача практически невыполнимая.

Существующие во всем мире способы тушения низовых лесных пожаров вручную эффективны и возможны только там, где есть доступ для пожарной техники к очагу пожара (хотя бы на расстояние 500–600 м, чтобы можно было проложить рукавную линию для подачи воды в очаг пожара) или на расстоянии до 1000 м есть водоем с требуемым запасом воды. Но, к сожалению, совмещение всех этих условий, особенно при российских масштабах лесных массивов, — случай досадно редкий.

Тушение лесных пожаров сбросом воды с вертолетов также очень малоэффективно. Во-первых, в силу перечисленных выше причин; во вторых, из-за неизбежного “промазывания” при сбросе воды на низовой пожар с высоты 40–50 м, особенно если сброс воды производится через полог леса. Кроме того, сбрасывая воду с вертолета, трудно обеспечить требуемый удельный расход воды на единицу площади пожара (даже с учетом “малых потерь” — 15–20 л на 1 м² площади тушения).

И наконец, при нерегулируемом режиме сброса воды (с вертолета Ми-17 порядка 1 т/с) абсолютно невозможно реализовать требуемую интенсивность подачи воды в очаг пожара: $J_t = J_h \approx 0,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Но если бы даже и удалось эту тонну воды, слившуюся за 1 с, каким-то чудом равномерно распределить на площади 100 м², а 3 т, соответственно, — на площади 300 м², то подавать ее надо не за 3–5 с (как бывает обычно), а равномерно в течение 50–100 с. Ни одно из этих требований при существующих способах подачи воды при тушении лесного пожара с вертолетов невыполнимо. Да и полного запаса воды на вертолете Ми-17 ($V_{\max} \sim 3 \text{ м}^3$) едва хватило бы на тушение минимальной площади пожара на 20-й минуте его свободного развития ($F_p^{\min} \approx 320 \text{ м}^2$).

Кроме того, следующий заход на тушение вертолет может сделать в лучшем случае через 15–20 мин, а то и больше. За это время недотушенный пожар (из-за невыполнения рассмотренных выше трех условий тушения) “забудет” о предыдущей попытке тушения и разгорится с прежней силой, продолжая распространяться на новые площади с прежней интенсивностью (после непродолжительной 2–3-минутной задержки).

Следовательно, эффективность тушения лесных пожаров сбросом воды с режима пролета или висения по применяемым на сегодня методикам тушения ничтожно мала. Коэффициент полезного использования воды по совокупности негативных причин меньше 5–10 %. К тому же 90–95 % воды, доставляемой с такими сложностями в очаг пожара, теряется зря.

Еще более бессмысленными являются попытки потушить лесной пожар сбросом воды с самолета. И дело вовсе не в количестве воды на борту самолета и не в том, что Боинг может сбросить одновременно вдвое больше воды, чем Ил-96 (до 70 т), Ил-76 (35–40 т), Бе-200 (15 т) или CL-415 (5–6 т). Дело в том, что для того чтобы слить даже при минимальной скорости пролета порядка $V_{\text{пол}} \approx 180 \text{ км}/\text{ч}$, минимальном времени слива из всех 8-ми баков 15 т воды всего за 2 с самолет Бе-200 должен пролететь примерно 100 м. Даже при ширине полосы орошения на земле всего 10 м вся вода “размажется” на площади тушения $F_t \approx 1000 \text{ м}^2$. Даже если бы вода распределялась идеально равномерно (что противоречит всем законам физики), то средний удельный расход воды составил бы порядка 15 л/м², что очень близко к минимально требуемому. Но время оседания воды, слитой за 2 с, составит не более 5–6 с. В крайнем случае, с учетом ее возможной задержки пологом леса, она будет оседать на очаг пожара $\tau_t^{\max} \approx 10 \text{ с}$. Но по расчетным параметрам тушения, чтобы на тушение ТГМ хватило удельного расхода воды 15 л/м², расчетное время тушения пожара должно составлять минимум $\tau_{\text{тущ}}^{\min} = V_{\text{в}}^{\text{ул}} / J_h = 15 / 0,1 \approx 150 \text{ с}$, что в 15 раз больше времени, в течение которого может поступать в очаг пожара вода, слитая с пролетающим самолетом. Вода же, слитая в течение 10 с, бесполезно стечет с горящей древесины, и никакого эффекта тушения не будет.

Таким образом, с учетом неравномерности распределения воды по площади тушения, неизбежного “промазывания” при сливе воды “с лета”, а также несоответствия формы реальной площади пожара геометрической форме пятна слива воды коэффициент ее потерь будет еще больше, т. е. коэффициент полезного использования воды на процесс тушения лесного пожара будет менее 1 %. И это в расчете на параметры лучшего из пожарных самолетов — Бе-200, а для Ил-76, Боинга и др. эти показатели будут еще хуже. Стоимость 1 часа эксплуатации “воздушного пожарника” на базе Боинг 747 (Джамбо) — 100 тыс. долл. в час [3]. Если учесть, что эксплуатация 1 часа Ил-76 или Бе-200 в 2 или 3 раза дешевле эксплуатации этого американского “слона”, то это все равно составит около 35–50 тыс. долл. в час. Поэтому стоимость воды, сливаемой по такой технологии тушения, по цене соизмерима со стоимостью

того же количества “Шампанского”. Не дорогое ли удовольствие заливать горящий лес “Шампанским”? Тем более что такое количество воды пожара практически не тушит, а лишь иногда слегка “притушивает”, а через 2–3 ч он продолжает бушевать с прежней силой (см. опыт российского тушения пожаров в Израиле, так как достоверных данных по эффективности тушения лесных пожаров с самолетов в России нет).

Все изложенное выше относится к проблеме тушения низовых лесных пожаров. Для их тушения применение авиатехники в существующих ее вариантах технически и экономически совершенно неоправданно. Примерно так же нецелесообразна широко применявшаяся в Советском Союзе тактика тушения низовых пожаров с использованием “крылатых пожарных”, которых сбрасывали в район возникновения очагов лесного пожара в тайгу с самолетов Ан-2. Кстати, по данным ИКАО эти самолеты — самые надежные, самые безопасные в мире. Для наблюдения за лесными пожарами они очень удобны (если нет возможности воспользоваться современными системами наблюдения со спутников Земли из космоса). Но использовать их в качестве средств доставки отряда пожарных для тушения лесного пожара в глухой тайге — издевательство над личным составом и техническая и экономическая бессмыслица, которую могла себе позволить только советская система. Более подробно несостоительность такой тактики тушения лесных пожаров рассмотрена мной в ряде статей 2007–2010 г. Не стоит это повторять.

Однако в природе есть еще одна разновидность лесных пожаров. Это так называемые верховые пожары, когда горит полог леса на высоте крон деревьев, т. е. когда нижняя кромка зоны горения расположена на высоте 10–15 м, а верхняя простирается до высоты 40–50 м. Еще страшнее комбинированные, совмещенные или свалочные пожары, когда пламя бушует и в приземной зоне лесного массива, и в верхнем пологе леса.

Правда, и верховые пожары, и тем более свалочные, чаще начинаются с низовых пожаров, когда зона горения не поднимается выше 3–5 м. И если низовые пожары тушить своевременно, число верховых или свалочных пожаров резко сократится. Но полностью исключить вероятность их возникновения нельзя. Верховой пожар может возникнуть и сам по себе, и от удара грозовой молнии, мощного разряда статического электричества — шаровой молнии, и от падения на лес горящего самолета или вертолета, короткого замыкания высоковольтных линий электропередач, проложенных вблизи лесных массивов, и ряда других источников зажигания. Поэтому исключить вероятность их возникновения нельзя.

Для тушения верховых и свалочных пожаров обойтись без современной авиации почти невозможно. Во-первых, потому, что зона горения расположена так высоко и так рассредоточена по объему, что попасть в нее огнетушащие средства с земли с требуемой для тушения древесины интенсивностью практически невозможно. Во-вторых, и это, пожалуй, даже более важно, скорость распространения этих двух видов пожаров в 5–10 раз выше скорости распространения низовых пожаров. Даже в безветренную погоду она может достигать 15–20 м/мин, а при наличии ветра или на склонах гор, при распространении пожара вверх по склону, скорость его может достигать 30–50 м/мин и более. Тогда площадь пожара достигает огромных размеров, и тушить его можно только методом массированного применения авиации (и то только методом локализации зоны горения лесного пожара). Но и в этом случае предпочтительнее крупные вертолеты типа Ми-26, чем самолеты, по рассмотренным выше причинам.

Верховые и свалочные пожары и методы их тушения заслуживают отдельного рассмотрения и расчета параметров тактики их тушения.

Новый способ и новая тактика тушения лесных пожаров с использованием вертолетов

Для тушения наиболее распространенных низовых пожаров, с которых обычно начинается большинство лесных пожаров, самым перспективным представляется вариант совмещения советской идеи “крылатых пожарных” с тактическими возможностями одной из модификаций Ми-17 (или по такой же схеме доработать более грузоподъемный Ми-26).

Идея состоит в том, чтобы сразу при обнаружении лесного пожара (лучше с помощью приборов видеонаблюдения из космоса) доставить в зону пожара отряд бойцов в специальной экипировке и со специальным боевым снаряжением. Но не сбрасывать их с парашютом в 5–10 км от очага пожара, как это делалось раньше (так как ближе могло не оказаться соответствующей лесной поляны дляброса парашютного десанта), а десантировать весь экипаж в составе 6–8 чел. по трапу или эластичному фалу, закрепленному на специальном выносном кронштейне перед сдвижной дверной створкой вертолета. Причем кронштейн должен быть оборудован подъемно-спусковой лебедкой, которая позволяет плавно спускать с вертолета и поднимать с земли на борт вертолета сразу всех (6–8) бойцов отряда пожарных. Воду на тушение пожара следует подавать от заборной подвесной емкости (вместимостью 3 м³) по пожарному рукаву с высоты 35–40 м в режиме висения. На конце рукава должна быть смонтирована распределительная муфта с запорными штуцерами

для подсоединения восьми пожарных рукавов диаметром 20 мм с запорным регулируемым стволов на конце. Пожарный ствол обеспечивает подачу компактной струи длиной 15–17 м и распыленной воды для тушения почвенных пожаров. При напоре 3–4 атм оба режима подачи воды технически вполне реальны.

В этом случае 6–8 бойцов, имея пожарный рукав стандартной длины 20 м, могут осуществлять тушение пожара на площади до 1000 м² и по фронту распространения пожара длиной до 250–300 м.

При такой технике и тактике тушения пожара каждый из бойцов располагает запасом воды около 350–400 л (т. е. почти в 20 раз больше, чем советский “крылатый пожарный”). Кроме того, он может осуществлять регулируемую подачу воды по всей площади тушения, соблюдая нормативную интенсивность подачи воды $J_h \approx 0,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (главный параметр процесса тушения пожаров ТГМ) и требуемое время подачи воды $\tau_t \approx 1,5 \div 2,0 \text{ мин}$ на каждом участке тушения. Выполнение этих трех параметров режима тушения ТГМ ($V_b^{\text{уд}} \geq 5 \text{ л}/\text{м}, J_h = 0,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ и $\tau_t \approx 100 \div 120 \text{ с}$) позволит резко расширить тактические возможности отделения пожарной охраны в составе 6–8 чел.

И главное, по окончании боевой работы по тушению очага пожара боевой расчет подразделения в полном составе механизированным подъемником поднимается на борт вертолета, летит на очередную заправку подвесной емкости водой из ближайшего водоема и вновь готов к высадке на очередной очаг пожара без затрат времени на вспомогательные операции.

К сожалению, ограниченные размеры журнальной статьи не позволяют провести подробный анализ тактико-технических возможностей и преимуществ пожаротушения с использованием вертолета Ми-17, и тем более вертолета Ми-26, по сравнению с любыми другими летательными аппаратами, особенно с самолетами. Стоимость одного действительного лучшего в мире самолета-амфибии Бе-200 в 4–5 раз больше цены одного вертолета Ми-17, да и эксплуатация его более чем в 3 раза дороже.

Значит, вместо одного Бе-200 можно закупить 4–5 вертолетов Ми-17, специально оборудованных в расчете на рекомендуемую тактику их применения. Следовательно, тактически и экономически модифицированные таким образом Ми-17 будут в 30–50 раз эффективнее самолета-амфибии Бе-200.

Кроме того, для базирования самолета нужен аэродром со взлетной полосой 1800 м, а для забора воды “с лету” — водоем длиной более 2300 м. А если учесть, что водоемов, пригодных для забора воды самолетом-амфибией, в лесном массиве в десят-

ки-сотни раз меньше, чем для забора воды подвесной бадьей в режиме висения вертолета, то сравнивать тактические возможности тушения лесных пожаров этими видами авиатехники вообще лишено смысла.

Таким образом, закупка самолетов Бе-200 для целей пожаротушения на сумму 9 млрд руб. технически и экономически абсолютно нецелесообразна. На эти деньги можно закупить более 35–40 специально оборудованных вертолетов Ми-17, которые, разбитые на эскадрильи по 3–4 вертолета, перекроют большую половину лесных массивов России эффективными средствами тушения лесных пожаров. Тем более что базирование и эксплуатация их обойдется даже дешевле, чем девяти рассредоточенных Бе-200, а эффективность тушения пожаров будет в сотни и даже в тысячи раз выше, чем с Бе-200.

Выходы

1. В современной мировой практике тушения лесных пожаров до сих пор нет эффективного метода их тушения, позволяющего обеспечить надлежащую безопасность населения и защиту лесных массивов от крупномасштабных потерь, граничащих с экологической катастрофой.

2. Тушение лесных пожаров сбросом воды с “пожарных” самолетов — самая дорогостоящая и самая бесполезная имитация процесса тушения лесных пожаров.

3. Применение модифицированных вертолетов типа Ми-17 (или Ми-26) позволяет наиболее рациональным путем решить три основные проблемы тушения лесных пожаров:

- своевременное обнаружение первичных очагов пожара (в случае облета охраняемой территории в режиме наблюдения);
- своевременную доставку сил и средств к очагу пожара (доставку личного состава и средства тушения (воды) к очагу пожара кратчайшим путем и в кратчайшее время, с обеспечением системы подачи воды на тушение пожара);
- обеспечение регулируемого, управляемого процесса тушения лесного пожара “вручную”, который позволяет достичь максимально возможной эффективности процесса тушения.

4. Экономически, технически и тактически предлагаемый способ тушения лесных пожаров на самой ранней стадии их развития находится вне конкуренции по сравнению со всеми применяемыми до настоящего времени в мире.

5. Приобретение любых типов самолетов, в том числе самолета-амфибии Бе-200, для целей пожаротушения ни технически, ни экономически, ни тем более тактически нецелесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фочкин О. На стихию напускают туман // МК. — № 171 (25.418) 05.08.2010.
2. Фочкин О. Зачем МЧС миллиарды // МК. — № 260 (25.507) 24.11.2010.
3. Фозензафт А. Россияне залили Израиль // МК. — № 270 (25.517). 06.12.2010.
4. Абдурагимов И. Критерий тушения пожаров охлаждающими огнетушащими средствами // Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. — 1982. — XXVII. — С. 11–17.
5. Абдурагимов И. Анализ механизмов огнетушащего действия современных средств пожаротушения // Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. — 1986. — XXI, т. 4. — С. 18.
6. Абдурагимов И. О нормативном времени тушения ординарных внутренних пожаров ТГМ // ЖПД. — 2007. — № 8.
7. Емельянов А. Способ повышения эффективности тушения пожаров твердых горючих материалов загущенными растворами воды (на примере карбооксиметилцеллюлозы (На КМЦ)) : дис. ... канд. техн. наук. — Рига : Политехнический университет, 1976.
8. Андросов А., Лобода Н. Расчетно-аналитический метод определения времени охлаждения древесины при тушении водой : науч.-техн. отчет ВИПТШ МВД СССР. — М., 1983.
9. Ринков К. Исследование коэффициента использования воды и водных растворов-загустителей при тушении пожаров твердых горючих материалов : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1977.
10. Яворский Г. Исследование методов повышения коэффициента использования воды при тушении малых пожаров внутри современных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1979.
11. Абдурагимов И. и др. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1980.
12. Ярошенко А. Синдром красного петуха // МК. — № 260 (25.507) 24.11.2010. — С. 1, 7.
13. Закон № 93-498 Конгресса США (1769) от 29 октября 1974 г.

*Материал поступил в редакцию 15 марта 2011 г.
Электронный адрес автора: ptm01@bk.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие**
*/ Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —
М. : ООО "Издательство "Пожнаука", 2010. — 210 с.*



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

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

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



Л. М. Мешман
канд. техн. наук, ведущий
научный сотрудник
ФГУ ВНИИПО МЧС РФ,
г. Балашиха, Россия



В. А. Былинкин
канд. техн. наук, ведущий
научный сотрудник
ФГУ ВНИИПО МЧС РФ,
г. Балашиха, Россия



Р. Ю. Губин
старший научный
сотрудник ФГУ
ВНИИПО МЧС РФ,
г. Балашиха, Россия



Е. Ю. Романова
научный сотрудник
ФГУ ВНИИПО МЧС РФ,
г. Балашиха, Россия

УДК 614.412:665.61

ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И УДЕЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВОДЯНЫХ АУП

При гидравлических расчетах водяных АУП для определения падения давления в трубопроводах используют табличные значения удельного сопротивления или удельной гидравлической характеристики труб в зависимости от их внутреннего диаметра. Предлагается вычисление этих значений по показательным уравнениям.

Ключевые слова: гидравлический расчет; удельная характеристика трубы; удельное сопротивление трубы; диаметр трубы.

Удельное сопротивление труб A и удельная характеристика труб K_m , используемые в традиционных методах расчета гидравлических сетей водяных АУП, представляют собой комплексы, учитывающие коэффициент гидравлических потерь (коэффициент Дарси) и коэффициент потерь на трение по длине трубопровода, являющиеся исходными параметрами для классических методов расчета гидравлических потерь в трубопроводах [1].

Недостаток традиционного метода расчета гидравлических сетей АУП, рекомендуемого СП 5.13130.2009 (приложение В) [2] и учебно-методическим пособием [3], заключается в том, что значения удельного сопротивления A стальных водогазопроводных труб (ГОСТ 3262–75* [4]) или удельной гидравлической характеристики K_m водогазопроводных труб (ГОСТ 3262–75* [4]) и стальных электросварных прямошовных труб (ГОСТ 10704–91 [5]) представлены в табличной форме, причем для труб определенного диаметра указано только одно значение толщины стенки. Однако для наиболее часто используемых в водяных и пенных АУП труб номинальным диаметром DN 25–DN 200 эта толщина может иметь различные значения.

По ГОСТ 3262–75* [4] толщина стенок труб при равных номинальном и наружном диаметрах зависит от типа труб (легкие, обыкновенные, усиленные или легкие под накатку для резьбы). По ГОСТ 10704–

91 [5] количество номиналов толщин стенок труб в зависимости от их номинальных диаметров DN 25–DN 200, наиболее часто используемых в водяных АУП, составляет от 9 до 16, причем собственно толщина может находиться в интервале от 1 до 8 мм.

Влияние внутреннего диаметра трубы на значения коэффициентов A и K_m заметно проявляется при диаметрах менее DN 50.

Для упрощения расчетов целесообразно использовать не табличную форму представления A и K_m , а уравнения, выражающие зависимость удельного сопротивления или удельной гидравлической характеристики от внутреннего диаметра трубы D : $A = f(D)$; $K_m = f(D)$. При наличии таких математических зависимостей представляется возможность проводить расчеты для любого внутреннего диаметра труб и, следовательно, получать более точные значения гидравлических потерь в трубопроводах при отсутствии необходимых данных по внутренним диаметрам в таблицах.

В качестве математических зависимостей $A = f(D)$ и $K_m = f(D)$ принята показательная функция. Непременным критерием соответствия табличных значений показательной функции, полученной аппроксимацией табличных данных, принималось условие, чтобы относительное расхождение табличных значений и значений показательной функции не превышало 4 %, т. е.

© Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю., 2011

Таблица 1. Значения коэффициентов α , ψ и степенных показателей θ , β (для DN 20–DN 200 включ.) для расчета показателей A и K_m

Показатель	α	β	ψ	θ
Удельное сопротивление A труб по ГОСТ 3262–75*				
[4] (уравнение (3))	9,642	-5,300	-	-
Удельная гидравлическая характеристика K_m труб (уравнение (4)):				
ГОСТ 3262–75* [4]	-	-	5,363	5,420
ГОСТ 10704–91 [5]	-	-	5,044	5,434

$$\varphi_A = 100(A - A_{\text{СП}})/A_{\text{СП}} \leq 4 \%, \quad (1)$$

$$\varphi_K = 100(K_m - K_{m \text{ СП}})/K_{m \text{ СП}} \leq 4 \%, \quad (2)$$

где φ_A , φ_K — погрешности расхождения табличных значений соответственно удельной гидравлической характеристики K_m СП и удельного сопротивления $A_{\text{СП}}$ от соответствующих графических функций $K_m = f(D)$ и $A = f(D)$;
 K_m , $K_{m \text{ СП}}$ — соответственно расчетное и табличное значения удельной гидравлической характеристики, $\text{л}^2/\text{с}^2$;
 A , $A_{\text{СП}}$ — соответственно расчетное и табличное значения удельного сопротивления для труб средней шероховатости, $\text{с}^2/\text{л}^2$.
Применительно к стальным водогазопроводным трубам по ГОСТ 3262–75* [4] функция $A = f(D)$ описывается уравнением

$$A = 10^{-8} \alpha D^{-\beta}. \quad (3)$$

Применительно к стальным водогазопроводным трубам по ГОСТ 3262–75* [4] и стальным электросварным прямошовным трубам по ГОСТ 10704–91 [5] функция $K_m = f(D)$ описывается уравнением

$$K_m = 10^{-8} \psi D^\theta. \quad (4)$$

В уравнениях (3) и (4) внутренний диаметр труб D выражен в мм.

Значения коэффициентов α , ψ и степенных показателей θ , β (для DN 20–DN 200 включ.) приведены в табл. 1.

Графики, выражающие зависимость удельного сопротивления $A = f(D)$ и удельной гидравлической характеристики $K_m = f(D)$ труб от их внутреннего диаметра по соответствующим уравнениям (3) и (4), приведены на рис. 1 и 2, а сравнительные численные значения удельного сопротивления A , удельной гидравлической характеристики K_m и относительных погрешностей φ_A и φ_K — в табл. 2–4.

Относительная максимальная погрешность вычислений удельного сопротивления A по уравнению (3) по отношению к табличным данным для

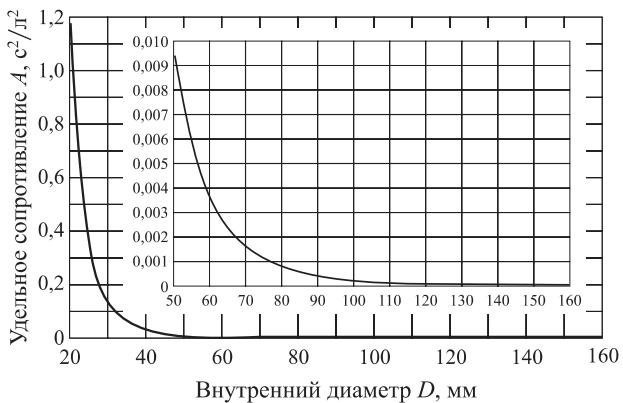


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления A от внутреннего диаметра D стальных водогазопроводных труб со средней шероховатостью по ГОСТ 3262–75* [4]

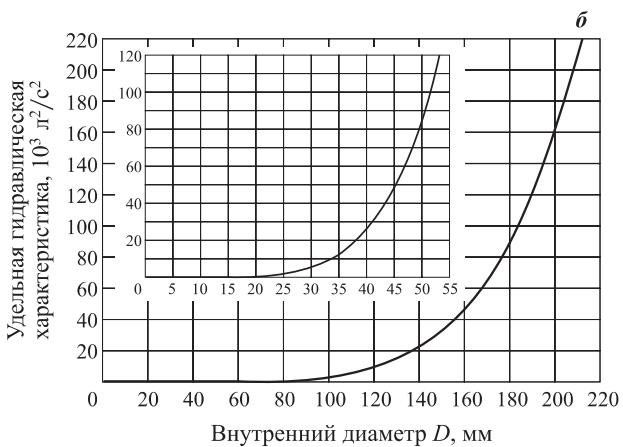
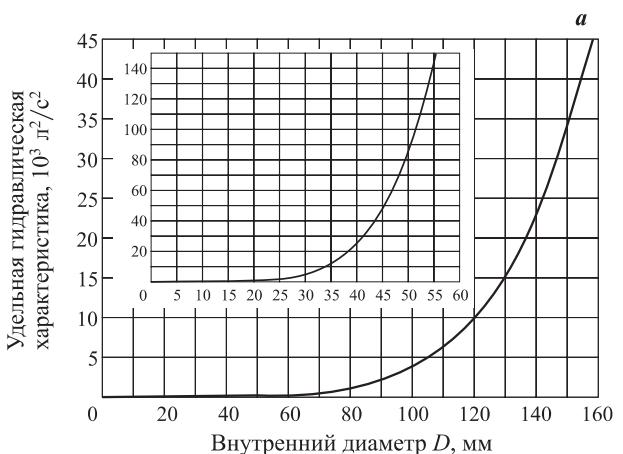


Рис. 2. Зависимость удельной характеристики труб K_m от внутреннего диаметра D стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262–75* (а) и стальных электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10704–91 (б)

труб с DN 20–DN 150, приведенным в [1], составляет 0,63 %.

Относительная максимальная погрешность вычислений удельной характеристики трубопровода K_m по уравнению (4) по отношению к табличным данным, приведенным в [1], составляет:

Таблица 2. Удельное сопротивление A труб со средней шероховатостью по ГОСТ 3262–75* [4]

DN	Расчетный диаметр, мм	Значения A		Погрешность, % (по формуле (1))
		по СП 5.13130.2009	по уравнению (3)	
20	20,25	1,150	1,148	-0,13
25	26	0,306	0,305	-0,21
32	34,75	0,06560	0,06563	0,05
40	40	0,0312	0,0311	-0,21
50	52	0,00780	0,00775	-0,63
70	67	0,002020	0,002023	0,14
80	79,5	0,000820	0,000817	-0,37
100	105	0,00018700	0,00018701	0,01
125	130	0,0000605	0,0000603	-0,34
150	155	0,0000238	0,0000237	-0,27

Таблица 3. Удельная гидравлическая характеристика K_m по ГОСТ 3262–75* [4]

DN	Наружный диаметр × толщина стенки, мм	Внутренний диаметр D , мм	Значения K_m		Погрешность, % (по формуле (2))
			по СП 5.13130.2009	по уравнению (4)	
20	26,8×2,5	21,8	0,926	0,963	4,05
25	33,5×2,8	27,9	3,65	3,67	0,53
32	42,3×2,8	36,7	16,5	16,2	-1,73
40	48×3,0	42	34,5	33,7	-2,37
50	60×3,0	54	135	132	-2,58
65	75,5×3,2	69,1	517	500	-3,20
80	88,5×3,5	81,5	1262	1224	-2,99
90	101×3,5	94	2725	2653	-2,64
100	114×4,0	106	5205	5088	-2,24
125	140×4,0	132	16940	16708	-1,37
150	165×4,0	156	43000	41318	-3,91

- для труб по ГОСТ 3262–75* [4] с DN 20–DN 150 — 4,05 % (только при DN 20; практически максимальная погрешность по остальным сравниваемым показателям составляет менее 4 %);
- для труб по ГОСТ 10704–91 [5] с DN 20–DN 200 — 3,38 %.

Уравнения (3) и (4) для определения удельного сопротивления A и удельной характеристики трубопровода K_m предполагается ввести в методику расчета параметров АУП при поверхностном пожаротушении водой и пеной низкой кратности (СП 5.13130.2009, приложение В [2]).

Значения удельной характеристики K_m для стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262–75* [4] и для стальных электросварных прямозовных труб

Таблица 4. Удельная гидравлическая характеристика K_m по ГОСТ 10704–91 [5]

DN	Наружный диаметр × толщина стенки, мм	Внутренний диаметр D , мм	Значения K_m		Погрешность, % (по формуле (2))
			по СП 5.13130.2009	по уравнению (4)	
20	25×2,0	21,0	0,75	0,77	2,96
25	32×2,2	27,6	3,44	3,41	-0,89
32	40×2,2	35,6	13,97	13,59	-2,69
40	45×2,2	40,6	28,7	27,8	-3,26
50	57×2,5	52,0	110	107	-3,14
65	76×2,8	70,4	572	553	-3,38
80	89×2,8	83,4	1429	1388	-2,87
100	108×2,8	102,4	4322	4234	-2,04
100	108×3,0	102,0	4231	4145	-2,04
100	114×2,8	108,4	5872	5769	-1,75
100	114×3,0	108,0	5757	5655	-1,78
125	133×3,2	126,6	13530	13409	-0,89
125	133×3,5	126,0	13190	13067	-0,93
125	140×3,2	133,6	18070	17964	-0,59
150	152×3,2	145,6	28690	28668	-0,08
150	159×3,2	152,6	36920	37001	0,22
150	159×4,0	151,0	34880	34941	0,17
200	219×4,0	211,0	209900	215241	2,54

по ГОСТ 10704–91 [5], приведенные в СП 5.13130.2009, соответствуют неиспользованным трубам. Со временем, особенно в воздушных спринклерных и дренчерных АУП, эти характеристики ухудшаются, поэтому значения удельного сопротивления A приведены, соответственно, для труб с различной степенью шероховатости (наименьшей, средней и наибольшей).

Трубопроводы водозаполненных спринклерных АУП, постоянно заполненные в процессе эксплуатации водой, в меньшей степени подвергаются коррозии вследствие доступа ограниченного количества кислорода, растворенного в воде. Наибольшей деструкции при длительной эксплуатации подвергаются трубопроводы воздушных спринклерных и дренчерных установок, так как после срабатывания АУП и последующего слива воды из подводящих и распределительных трубопроводов их увлажненная внутренняя поверхность вступает в химическую реакцию с кислородом воздуха. Внутренняя поверхность трубопровода корродирует неравномерно, вследствие чего возрастает шероховатость поверхности и, соответственно, гидравлическое сопротивление трубопровода. При этом возможны обстоятельства, при которых давление насоса уже не может обеспечить требуемое давление у диктующе-

го оросителя, вследствие чего в процессе эксплуатации АУП потребуется его замена на насос с более высоким давлением на выходе.

Таким образом, факт деструкции трубопроводов воздушных спринклерных и дренчерных АУП

необходимо учитывать при проектировании их гидравлических сетей. Для трубопроводов, которые эксплуатируются не заполненными водой, целесообразно выбирать удельное сопротивление для труб со средней или наибольшей шероховатостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гейер В. Г., Дулин В. С., Заря А. Н. Гидравлика и гидропривод : учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1991.
- СП 5. 13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : введ. 01.05.2009 ; утв. 25.03.2009 МЧС России. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2009.
- Автоматические водяные и пенные установки пожаротушения. Проектирование : учебно-методическое пособие / Л. М. Мешман, В. А. Былинкин, Р. Ю. Губин, Е. Ю. Романова; под общ. ред. Н. П. Копылова. — М. : ВНИИПО, 2009. — 572 с.
- ГОСТ 3262-75*. Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия : введ. 01.01.77. — М. : Изд-во стандартов, 1994.
- ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент : введ. 01.01.93. — М. : Изд-во стандартов, 1997.

*Материал поступил в редакцию 15 февраля 2011 г.
Электронный адрес авторов: fire404@mail.ru.*



Издательство «ПЖНАУКА»

Представляет новую книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



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

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

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

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



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

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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

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

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

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

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

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

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

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

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

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

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

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

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

Май 2011 г.

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

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

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

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

**ООО “Издательство “Пожнаука” предлагает подписку на 2011 г.
на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность”
и “Пожарная безопасность в строительстве”.**

	Стоймость, руб.
ПОЛУГОДИЕ	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	3790
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	1140
ГОД	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (12 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	7580
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	2280

Подписка осуществляется через следующие агентства:

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

Образец заявки для оформления заказа на литературу

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

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

1. Заполните все поля анкеты:

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

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

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

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



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

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

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

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

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

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

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

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

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

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

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации

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

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

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

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

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

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

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



Experimental Study of Fire Performance Foamed Coatings Depending on the Thickness

Nenakhov S. A., Cand. of Chemistry, Senior Research Assistant of RPE "Teplochim", Moscow, Russia

Pimenova V. P., Cand. of Chemistry, Deputy of Director of Scientific Effort of RPE "Teplochim", Moscow, Russia

The results of the experimental study the influence of the thickness of the foam fire protection coating (based on organic/inorganic composition) on the kinetics of changes in temperature of the steel substrate are considered. On the thermogram of heating of the steel substratum protected by a coating, three stages (initial, transition, coke), courses different by time, speeds of heating and a covering condition are allocated. The empirical dependences describing change the thickness ratio of fireproof efficiency of coatings, change of seeming speed of movement endothermic front of transformations in a coating in a wide range of thickness are received. It is shown that the contribution of each of the stages in the overall time to achieve the ultimate state with increasing thickness of the initial coating varies in different ways. Based on the analysis of the data formulated by consideration of the uneconomical use of the full spectrum of groups, fire retardant efficiency single-ended, even with excellent fire retardant characteristics. From an economic point of view advantageous to provide existing teams of fire-resistance range of materials (this may be the modification of the same composition), differing stepwise efficiency.

Keywords: foaming coating; ammonium polyphosphate; the thermogram of the heating; stage; the apparent velocity; the minimum thickness of the coating; influence of coating thickness.

Destruction of Vulcanizate of Siloxan Covering and Kapron Materials with Vulcanizing Siloxan Covering

Timofeeva S. V., Cand. of Chemistry, Associated Professor of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Malyasova A. S., Cand. of Chemistry, Research Assistant of Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

Khelevina O. G., Dr. of Chemistry, Professor of Ivanovo State University of Chemistry and Technology and of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

The destruction of vulcanizate siloxan coverings on the base of liquid siloxan rubber, vulcanizate by method of polycondensation, of liquid rubber 3605 of firm "Dow Corning", vulcanizate by method of polyaddition, and kapron materials with vulcanizate covering on the base of these rubbers at action of flame is studied by method of infra-red spectroscopy. It is shown that the destruction of vulcanizate siloxan rubbers proceeds on the $-C-H$, $-Si-O-Si-$ and $-Si-CH_3$

bonds. The processes of destruction proceeds more intensively with participation of $-Si-OH$ groups. The materials with covering on the base of liquid rubber 3605, vulcanizate by method of polyaddition, are more fireproof than the materials on the base of liquid siloxan rubbers, vulcanizate by method of polycondensation.

Keywords: liquid rubber; destruction; polycondensation; infrared spectroscopy method.

Physics Sence and Estimation of Coefficient of Working Conditions and Critical Warming Temperature of Constructions Materials in Conditions of Fire

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

Results of the analysis of physical sense and the concept maintenance "coefficient of working conditions of construction materials at fire", underlying the theory of calculation of building constructions fire resistance are given. It is shown that the estimation of change of resistance of building designs materials under fire influence can be spent by means of two equivalent indicators — factor of working conditions of a material in the conditions of fire and critical warming temperature of a material in the conditions of fire. The attention that application of this or that of these two equivalent indicators assumes use of various schemes of calculation of constructions on fire resistance is paid. Features of an estimation of values of working condition's coefficient of designs materials are considered at a fire and critical warming temperature of objects at a fire at the combined special influences (SNE) with participation of fire on building designs. Recommendations about the account of these features are made at calculations of firmness of buildings and constructions at SNE with participation of fire.

Keywords: fire resistance; calculation; construction; material; coefficient of working conditions of a material at fire; critical warming temperature of a material in the conditions of fire.

Creation of 3D-Models Multifunctional Public Building with Package "Autodesk 3DS Max" to Forecasting the Risk of Emergency

Kosterin I. V., Head of Department of Research Expertise and Consulting Department of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercome RF, Ivanovo, Postgraduate Student of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercome RF, Balashikha, Russia

The article reviews the usage of graphics software system "Autodesk 3DS Max" for three-dimensional models of multifunctional public buildings in order to simulate potential emergency situations and monitor the state of their systems of fire protection.

Keywords: three-dimensional model; visualization; fire hazard; multipurpose building.

Research of Film-Forming and Insulating Ability of Solutions of Fluorinated Surfactants

Kotov S. G., Cand. of Technics, Head of R&D Support and Coordination Administration of the Research Section of the Senior Management of Science, Belarusian State University, Minsk, Belarus

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

Kotov D. S., Master of Physics-Mathematics, Engineer, UE "Geoinformational Systems" of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Describes laboratory research methods allowing to use a little amount of surfactants in fire control foam. Provides results on the surface and interphase tensions of aqueous solutions of fluorinated surfactants and aqueous solutions containing both fluorinated and hydrocarbon surfactants delivered to the Republic of Belarus research. Provides results on film-forming and insulating ability of aqueous solutions containing both fluorinated and hydrocarbon surfactants research with original laboratory method. Grounds the framework of purposed foamer allowing to obtain the insulating film on the surface of *n*-heptane.

Keywords: purposed foamer for fire control; surface-active substances (surfactants); fluorinated and hydrocarbon surfactants; surface and interphase tension; film-forming and insulating ability.

Regularity of Wetting Combustible Materials by Water and Water Solution of Humectant

Voevoda S. S., Dr. of Technics, Head of Department of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Makarov C. A., Cand. of Technics, Senior Research Assistant of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Molchanov V. P., Dr. of Technics, Professor of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Bastrikov D. L., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Krutov M. A., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

In article conditions of wetting of solid surfaces are analyzed, the mathematical model of definition of the minimum con-

centration humectant for extinction of waterproof surfaces is presented.

Keywords: water solution; humectant; concentration of humectant; hydrophobic material.

New Effective Way of Forest Fires Extinction

Abduragimov I. M., Dr. of Technics, Professor, Academician of the National Academy of Fire Science, the Colonel of Internal Service

Timely discovering and extinguishing of forest fires at the early stage of intensive "upper fire" is still actual for Fire services of all countries in the world. This article describes new, more effective way, of forest fire extinction because of synergetic effect of combination of 2 non effective options: using help of "flying firemen", who are getting to a place by plane without fire fighting means and transportation of firemen provided with fire fighting means (water) to the fire-place. If this modern way of fire extinction is realized it can be recognized as a "new Russian way of forest fire extinguishing".

Keywords: upper forest fire; peat fire; fire extinguishing; fire safety; physics of burning and extinguishing of wood.

Exponential Equations of Specific Resistivity and Specific Hydraulic Pipe Characteristic for Hydraulic Calculation of Automatic Water Firefighting Installations

Meshman L. M., Cand. of Technics, Senior Research Officer of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercome RF, Balashikha, Russia

Bylinkin V. A., Cand. of Technics, Senior Research Officer of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercome RF, Balashikha, Russia

Gubin R. Yu., Senior Researcher of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercome RF, Balashikha, Russia

Romanova E. Yu., Research Officer of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercome RF, Balashikha, Russia

During hydraulics calculations of automatic water firefighting installations for determination of pipelines pressure drop used tabulated values of resistivity or specific hydraulic pipe characteristic depending on internal diameter. It is proposed to calculate these values using exponential equations.

Keywords: hydraulic calculation; specific pipe characteristic; specific pipe resistivity; pipe diameter.

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

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

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

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

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюхантцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

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

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

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

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

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

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

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

профессор Т. Дж. Шилдс

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

Редакция:

Главный редактор журнала

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

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редактор
Л. В. Крылова

Chairman of Editorial Council:

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

Deputy of Chairman of Editorial Council:

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

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

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

Editorial Council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Professor Thomas Jim Shields

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

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

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

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editor
L. V. Krylova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

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

121352, г. Москва, а/я 43

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

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 05.05.11.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство “Пожнauка” предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве” на 2011 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.

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.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2011

Издание	Цена подписки, руб.	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) 737 65 74 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810600000000119
БИК 044583119
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

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

ПОДПИСКА:

через ООО “Издательство “Пожнauка”;

через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;

через агентство “АПР”, индекс 83647

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

через подписные агентства:

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

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

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

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб.

Расширяя тематику журнала, в 2011 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	



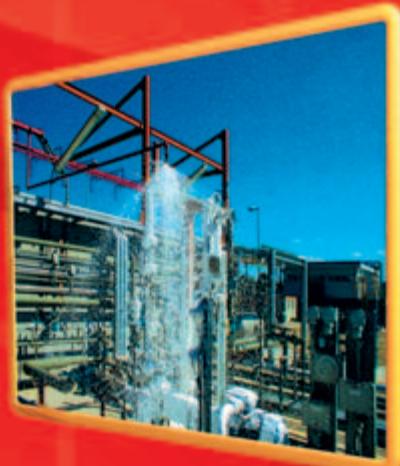
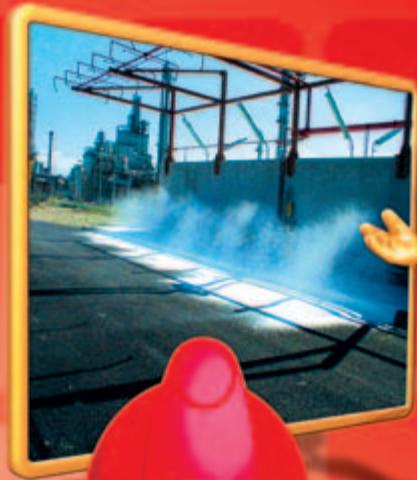
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

121352, г. Москва,
ул. Давыдковская, д. 12, стр. 3
Тел./факс: (495) 735-28-13
E-mail: gefest-fire@mail.ru
www.gefestnpk.ru

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

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



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

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

РЕКЛАМА