

5-2014

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ
ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ОЦЕНКИ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ



ISSE

INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

**КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ**

VII международный салон

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ **2014**

Москва,
Всероссийский выставочный центр,
павильоны № 75 и № 69

20 - 23 мая

Тематические разделы



Пожарная
безопасность



Техника
охраны



Безопасность
границы



Медицина
катастроф



Защита
и оборона



Средства
спасения



Экологическая
безопасность



Промышленная
безопасность



Информационные
технологии



Комплексная безопасность
на транспорте



Ядерная
и радиационная безопасность

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

БАТМАНОВ С. В., КОБЕЛЕВ А. А.
Нормативные требования к классификации
взрывоопасных зон и взрывопожароопасных категорий
при проектировании производственных помещений

6

BATMANOV S. V., KOBELLEV A. A.
Requirements for explosive zones
and fire explosive categories in the design
of industrial premises

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ВОЛКОВ Р. С., ЗАБЕЛИН М. В.,
КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Влияние твердых включений в каплях жидкости
на интенсивность парообразования в зоне пламени

10

VOLKOV R. S., ZABELIN M. V.,
KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Influence of solid inclusions in liquid drops
on evaporation intensity in the flame

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

АЛЕКСЕЕВ С. Г., АЛЕКСЕЕВ К. С.,
СМИРНОВ В. В., БАРБИН Н. М.
Температура вспышки.
Часть IV. Дескрипторный метод расчета

18

ALEXEEV S. G., ALEXEEV K. S.,
SMIRNOV V. V., BARBIN N. M.
Flash point.
Part IV. The descriptors method

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

ГРАВИТ М. В.
Гармонизация российских и европейских
нормативных документов, регламентирующих методы
испытаний на огнестойкость строительных конструкций
с использованием средств огнезащиты

38

GRAVIT M. V.
Harmonization of Russian and European
regulatory documents establishing the methods
of fire tests of building structures with the use
of fire protection

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

БАРАНОВСКИЙ Н. В., ЖАРИКОВА М. В.
Веб-ориентированная геоинформационная система
оценки лесной пожарной опасности
(на примере Пролетарского лесничества Украины)

47

BARANOVSKIY N. V., ZHARIKOVA M. V.
Web-oriented geoinformation system
of forest fire danger estimation (on example
of the Proletarian forest area of Ukraine)

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

КАЙБИЧЕВ И. А., КАЙБИЧЕВА Е. И.
Индексы пожарного риска в Российской Федерации

56

KAIBICHEV I. A., KAIBICHEVA E. I.
Indexes fireman risk in Russian Federation

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

FIRE AUTOMATIC

ГОРБАНЬ Ю. И., СИНЕЛЬНИКОВА Е. А.
Пожарные роботы и ствольная пожарная техника
в пожарной автоматике и пожарной охране.
II. Баллистика струй

62

GORBAN Yu. I., SINELNIKOVA Ye. A.
Fire robots and fire monitors in automatic
fire fighting and fire prevention.
II. Stream ballistics

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Тушение горючих жидкостей высококипящими хладонами

67

KOROL'CHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.
Combustible liquids suppression with high-boiling halons

БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., УСМАНОВ М. Х.,
ШИМКО В. Ю., КАРПОВ В. Л., КУРБАНОВ А. Х.
Метод защиты от распространения пожаров
опасных газов и радионуклидов

72

BRUSHLINSKIY N. N., USMANOV M. Kh.,
SHIMKO V. Yu., KARPOV V. L., KURBANOV A. Kh.
Method to prevent the fire spread
of hazardous gases and radionuclides

ВИНОГРАДОВ А. Г.
Применение теории затопленных струй
к расчету параметров водяных завес

76

VINOGRADOV A. G.
Application of the submerged jet theory
to calculation of water curtain parameters

ВОПРОС – ОТВЕТ

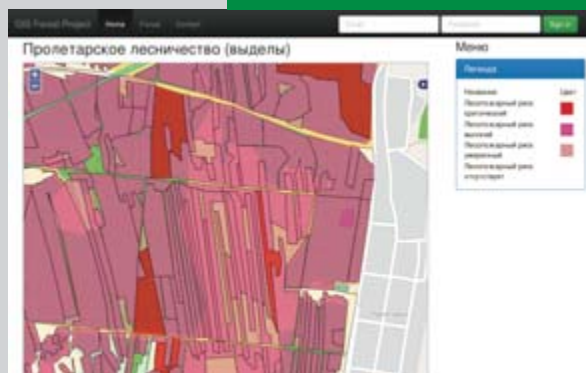
88

QUESTION – ANSWER

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, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Категорирование производственных помещений



Система оценки лесной пожарной опасности

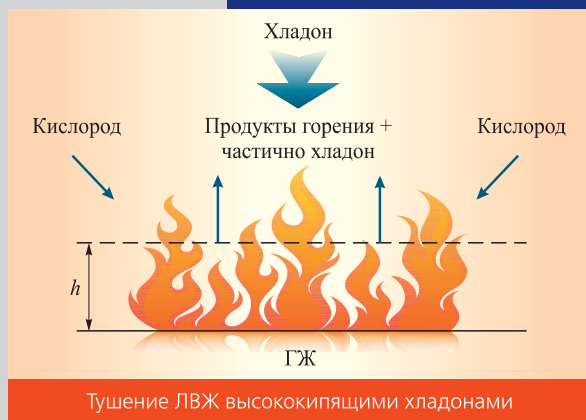
Стр. 6

Стр. 47



Баллистика струй

Стр. 62



Тушение ЛВЖ высококипящими хладагентами

Стр. 67

Стр. 72



Метод защиты от распространения пожаров

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор,
академик МАНЭБ (Россия)

Зам. председателя Редакционного совета:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

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

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Горбань Ю. И., генеральный директор –
главный конструктор (Россия)

Кирюханцев Е. Е., к. т. н., профессор (Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Россия)

Лейбман М. Е., заслуженный строитель России,
генерал-полковник запаса (Россия)

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

Мишуев А. В., д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

Ройтман В. М., д. т. н., профессор, академик НАНПБ
и ВАНКБ (Россия)

Сенин Н. И., к. т. н., профессор (Россия)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

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

Теличенко В. И., д. т. н., профессор, действительный член
РААСН, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

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

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик и почетный
член РАЕН, заслуженный работник высшей школы РФ (Россия)

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Тел./факс: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85.

121352, г. Москва, а/я 43.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru,
www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

Подписано в печать 12.05.2014.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

Editor-in-Chief **Korol'chenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia

Phone/Fax: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85

E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress

Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database. Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory".

No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers.

Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory. Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 12.05.2014
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko A. Ya.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Baratov A. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Gorban Yu. I.,

General Director – Chief Designer (Russia)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korol'chenko D. A.,

Candidate of Technical Sciences, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Leybman M. Ye.,

Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

Merkulov V. A.,

Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (Russia)

Roytman V. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex Safety (Russia)

Senin N. I.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Serkov B. B.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Puzach C. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Telichenko V. I.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Topolskiy N. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Tychino N. A.,

Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety (Belarus)

Kholshchevnikov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician and Honoured Member of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation (Russia)

Shebeko Yu. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Thomas Jim Shields,

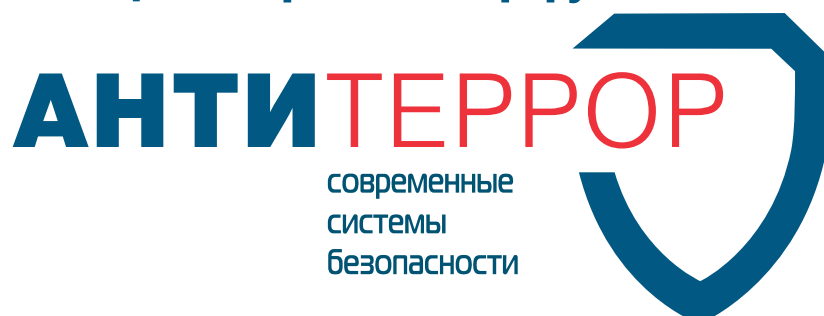
Professor (Great Britain)

28–30 мая

Красноярск 2014



X специализированный форум-выставка



- **Безопасность банковского сектора – NEW**
- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность

РЕКЛАМА



сибирь
международный
выставочно-деловой центр



Организаторы:



Информационная поддержка:

всероссийский специализированный журнал
БЕЗОПАСНОСТЬ

ПОЖНАУКА Издательство



МВДЦ «СИБИРЬ»
ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-400
22-88-611 – круглосуточно
ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru

С. В. БАТМАНОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: svbatmanov@gmail.com)

А. А. КОБЕЛЕВ, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

УДК 614.842/.874+69

НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КЛАССИФИКАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН И ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ КАТЕГОРИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Проведен сравнительный анализ нормативных документов по пожарной безопасности, применяемых при разработке проектной документации и содержащих требования к взрывопожароопасности внутреннего пространства производственного помещения. Показаны различия целей и методов при классификации взрывоопасных зон в помещении и классификации помещений по взрывопожарной опасности.

Ключевые слова: производственное помещение; пожарная безопасность; проектная документация; взрывоопасная зона; взрывопожароопасная категория.

Технологические процессы, которые организуются в помещениях и в которых используются горючие жидкости и газы, могут представлять значительную взрывопожароопасность. Появление горючей среды и источников зажигания в объеме производственного помещения возможно как при нормальном режиме работы, так и в результате аварии. Образование горючей среды, последующее воспламенение и развитие взрыва имеют вероятностный характер. На этапе разработки проектной документации чрезвычайно важно иметь информацию по вероятности реализации указанных событий, что позволит качественно обосновать и описать систему обеспечения пожарной безопасности. Особенно это актуально при наличии в производственном помещении рабочих мест.

Федеральным законом № 123 (далее — ФЗ-123) [1] установлены требования по классификации взрывоопасных зон в помещениях (далее — зонирование) и определению категорий помещений по взрывопожарной опасности (далее — категорирование). Однако, прежде чем обсуждать различия нормативных методов классификации зон и категорирования помещений, необходимо привести пример из практики проектирования производственных помещений. Разделы проектной документации порой содержат информацию, в соответствии с которой зоны производственного помещения имеют различную взрывопожароопасность. В производственном помещении располагается технологическое оборудование, при нормальной работе которого возможно выделение

горючих газов и их скопление выше отметки пола +3,000 м, что приводит к образованию взрывоопасной зоны, тогда как согласно расчету категории по СП 12.13130.2009 [2] устанавливается лишь пожароопасность помещения — В1. Таким образом, при определенных условиях в помещении, которое может не являться взрывопожароопасным, некоторые зоны могут быть взрывоопасными. В этой ситуации закономерными представляются следующие вопросы: обеспечивается ли безопасность рабочего персонала и какой сценарий развития ситуации последует в случае появления источника зажигания — пожар, взрыв или вспышка?

Первое, что необходимо подчеркнуть в результате рассмотрения ФЗ-123 [1], — это различие целей, которые ставятся при классификации взрывоопасных зон и категорировании взрывопожароопасных помещений. Целью зонирования производственного помещения является выбор электротехнического и другого оборудования для обеспечения его взрывобезопасной эксплуатации. Цель категорирования — предотвращение возникновения пожара и защита людей и имущества. Какие же критерии для оценки взрывоопасности внутреннего пространства помещения предлагаются системами категорирования и зонирования? Для отнесения помещения к взрывопожароопасной категории необходимо установить массу горючих веществ в воздухе и рассмотреть режим сгорания этой смеси; граничным условием при этом является избыточное давление во фронте взрывной волны 5 кПа. При определении класса зоны ре-

шающим фактором является частота и длительность присутствия взрывоопасной смеси в воздухе. Различие указанных обстоятельств в значительной степени ограничивает область совместного применения двух систем нормирования взрывопожароопасности внутреннего пространства производственных помещений.

В соответствии с положениями ФЗ-123 [1] и перечнем [3] расчетные методики для классификации взрывоопасных зон и категорирования помещений по взрывопожароопасности должны быть представлены в нормативных документах по пожарной безопасности [2, 4, 5]. При анализе положений ГОСТ Р 51330.9–99 [4] становится очевидным, что существует их несоответствие классификации взрывоопасных зон по ФЗ-123 [1]. Оно выражается в различном описании зоны 2-го класса, а именно: аварийный режим работы оборудования ГОСТом [4] не рассматривается вообще, тогда как ФЗ-123 [1] для этой зоны указывает аварию в качестве исходного события. В документах [2, 5] отсутствуют сведения о взрывоопасной зоне 2-го класса. Данное обстоятельство вызывает затруднения у специалистов с учетом того, что перечень [3] не содержит иных нормативных документов, позволяющих классифицировать взрывоопасные зоны в помещениях. Таким образом, определить нормативный документ по пожарной безопасности, который бы позволил рассчитать характеристики зоны 2-го класса, достаточно сложно.

Рассмотрение нормативного документа по зонированию [4] и попытка сравнения представленных в нем методик с положениями СП 12.13130.2009 [2] указывают на следующие несоответствия.

Во-первых, каждый документ проводит классификацию производственного помещения при одном определенном режиме работы оборудования: ГОСТ [4] рассматривает лишь нормальный режим, СП 12.13130.2009 [2] в целом принимает аварийный режим. В связи с этим требуется некоторое уточнение положения [2], в соответствии с которым рекомендуется “выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов” при обосновании расчетного варианта, но нормальный режим работы методикой расчета не учитывается.

Понятие аварийной ситуации документами [2, 4] определяется как разрушение оборудования, в результате чего все его содержимое попадает в окружающее пространство, что требует срочной остановки технологического процесса. Понятие “нормальный режим работы” [4] учитывает возможность выхода горючих веществ из оборудования в окружающее пространство помещения, однако при этом не тре-

буется срочное прекращение работы и параметры процесса сохраняют свои рабочие значения.

Во-вторых, расходятся эти документы [2, 4] и относительно применения частотной характеристики для описания исходного состояния технологического оборудования (нормальный или аварийный режим), в результате которого горючие вещества выходят в окружающее пространство помещения. Так, стандарт [4] возможность возникновения взрывоопасной смеси в помещении определяет показателем частоты, который характеризует периодичность работы оборудования. Свод правил [2], рассматривая исходное состояние оборудования — аварийный режим в качестве расчетного, не учитывает частоту его реализации. Стоит отметить, что нормативное определение понятия аварийной ситуации [2] учитывает вероятность ее возникновения. При выборе расчетного варианта также задается вероятность отказа запорной арматуры трубопроводов.

Частота возникновения исходного состояния технологического оборудования (выход горючей среды, авария и т. п.) позволяет исключить из рассмотрения “безопасный” период работы, что повышает достоверность расчетов по определению зон и категорий. Таким образом, с точки зрения периодичности работы технологического оборудования выбор нормального режима при зонировании представляется более логичным, чем выбор аварийного режима при категорировании, так как количество циклов заведомо выше у нормального режима. Частотная характеристика исходного события позволяет учесть различия в производственном оборудовании только что построенных производственных объектов и объектов, прошедших перевооружение или реконструкцию.

В-третьих, различие [2, 4] касается также частоты присутствия источника зажигания во взрывоопасном пространстве зоны или помещения. В [4] в качестве возможного источника зажигания при зонировании рассматривается электрооборудование, однако в производственном помещении не исключается существование источников зажигания и другой природы. Частоту появления источника зажигания во взрывоопасной среде, а также последствия аварии ГОСТ [4] не рассматривает. При категорировании помещений природа появления и характеристики источника зажигания не учитываются. Из текста документа [2] косвенно следует, что источник зажигания постоянно присутствует в горючей среде, но воспламенение среды происходит лишь по истечении нормативного времени. Отсутствие нормативного перечня возможных источников зажигания на производстве, а также вероятности их появления в горючей среде снижает достоверность результатов расчетов при определении зон и категорий.

Помимо перечисленных различий между [2] и [4], необходимо отметить различный подход ГОСТов [4] и [5] к определению геометрических размеров взрывоопасных зон и категорий помещений. Для расчетов с целью категорирования помещения принимается, что горючая среда распространена во всем свободном объеме, а значит, и взрывопожароопасность в каждой точке свободного объема помещения будет одинаковой. При определении взрывоопасных зон важно однозначно определить геометрические размеры области, содержащей взрывоопасную смесь. Расчетные методики [4] позволяют определить гипотетический объем взрывоопасной смеси вокруг источника утечки при наличии вентиляции. Возможную геометрическую форму, которую принимает взрывоопасная смесь, и ее размеры в трех координатах

позволяет определить ГОСТ [5] при отсутствии и наличии вентиляции. Однако ГОСТ [4] устанавливает область применения ГОСТа [5] лишь для случая, когда в помещении отсутствует вентиляция.

В результате на сегодняшний день системы категорирования и зонирования, рассматривая взрывоопасную среду в производственном помещении, устанавливают разные цели, используют различные методики и, соответственно, делают разные выводы об опасности внутреннего пространства. Таким образом, при разработке проектной документации на производственные объекты проектировщики будут сталкиваться с трудностями, так как критерии безопасности рабочего персонала производственных помещений в нормативных документах в полной мере не определены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182; введен 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. Об утверждении изменений, которые вносятся в перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», утвержденный Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 апреля 2009 г. № 1573 : приказ Росстандарта от 01.07.2010 г. № 2450 (в ред. Приказа Росстандарта от 30.07.2013 г. № 854); введен 30.09.2010 г. // Вестник Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. — 2010. — № 8.
4. ГОСТ Р 51330.9–99 (МЭК 60079-10-95). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон. — Введен 01.01.2001 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2000.
5. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введен 01.01.2000 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998. — 85 с.

Материал поступил в редакцию 24 января 2014 г.

English

REQUIREMENTS FOR EXPLOSIVE ZONES AND FIRE EXPLOSIVE CATEGORIES IN THE DESIGN OF INDUSTRIAL PREMISES

BATMANOV S. V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Fire Safety Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: svbatmanov@gmail.com)

KOBELEV A. A., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Fire Safety in Construction Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The significance of the article is based on necessity of the industrial premises classification in terms of fire and explosion hazardous. The classification is carried out on the stage of the development project documentations and it is subject to Federal Law No. 123 and fire codes. The classifications of explo-

sive zones and fire and explosive categories in premises are two directions. The specialists are faced by significant differences of those directions in the design of industrial premises, that leads to the category classification as fire hazardous in spite of explosive zone on premise. In this case the safety aspect for workers has not decided yet. Similar distinctions are stipulated by the different requirements in the matter of explosive hazardous of the internal space of premises. The difference in two directions of the classification is involved the discrepancy their objects, methods and other aspects. The comparison of the fire codes and federal law has exposed the impossibility of the combined usage of the classification results for explosive zones and categories in premises in terms of workers safety determination.

Keywords: industrial premises; fire safety; project documents; explosive zones; fire explosive categories.

REFERENCES

1. Technical regulations on fire safety requirements. Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. *Set of Rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
3. Approval of the changes that are made to the list of national standards and codes, as a result of which, on a voluntary basis, compliance with Federal Law № 123 “Technical Regulations on Fire Safety Requirements”, approved by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of April 30, 2009 No. 1573. *Vestnik Federalnogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii — Bulletin of Federal Agency for Technical Regulation and Metrology*, 2010, no. 8 (in Russian).
4. *State Standard 51330.9–99. Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Part 10. Classification of hazardous areas*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2000 (in Russian).
5. *State Standard 12.3.047–98. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1998. 85 p. (in Russian).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет 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 эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

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

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

Р. С. ВОЛКОВ, ассистент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

М. В. ЗАБЕЛИН, аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: zabelinmv@tpu.ru)

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: elf@tpu.ru)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.46

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КАПЛЯХ ЖИДКОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПАРООБРАЗОВАНИЯ В ЗОНЕ ПЛАМЕНИ

Выполнено экспериментальное исследование влияния твердых включений (неметаллических и металлических частиц) в каплях воды (размером от 1 до 5 мм) на изменение размеров последних, убыль массы жидкости и интенсивность парообразования при движении ее через зону пламени. На примере углеродистых частиц (размером 50–500 мкм) показано, что твердые включения в каплях жидкости могут существенно влиять на изменение размеров капель и интенсифицировать парообразование в области горения. Сформулированы рекомендации по увеличению полноты испарения тушащих жидкостей в зоне очага горения при их локальном “сбросе” (подаче в виде монолитного “снаряда”).

Ключевые слова: пламя; продукты сгорания; вода; капли; твердые включения; парообразование; тушение.

Введение

В последние годы сформировалось несколько направлений использования технологий воздействия на пламя “тонкораспыленной” водой при тушении пожаров и ликвидации очагов возгораний: в офисных, жилых и промышленных зданиях [1–5], космических аппаратах и станциях [6–8], лесах и насаждениях [9]. При этом известны и критические взгляды на перспективы развития этих технологий [10]. Теоретические [11–14] и экспериментальные [15, 16] исследования в этой области показали, что применение потоков распыленной специальным образом жидкости (парокапельного облака) позволяет существенно увеличить коэффициент полезного использования тушащего средства в зоне пламени. Определены максимальные размеры капель жидкости (на примере воды), при которых в пламенной зоне горения может быть обеспечено интенсивное парообразование [11–16]. Помимо измельчения капель, в качестве факторов, интенсифицирующих

убыль массы тушащей жидкости в зоне пламени, рассмотрены предварительный подогрев воды и уменьшение концентрации типичных примесей солей [15, 16]. Однако такие процедуры не всегда могут быть реализованы в практике пожаротушения, особенно при ликвидации крупных лесных пожаров с применением авиации [17–19].

Анализ макроскопических закономерностей парообразования при движении жидкости через пламя [11–16] позволяет заключить, что одним из факторов, существенно влияющих на интенсивность испарения тушащей среды, является ее компонентный состав. До настоящего времени не установлен механизм влияния типичных твердых металлических и неметаллических включений (частиц различных размеров) и концентраций их в воде на интенсивность парообразования. Представляет интерес экспериментальное исследование влияния различных по физической природе твердых включений в каплях воды на интенсивность их испарения в пламенной зоне горения.

Целью настоящей работы является экспериментальный анализ влияния твердых включений в каплях широко распространенной тушащей жидкости — воды на интенсивность парообразования в зоне пламени.

Экспериментальная установка и методы исследований

При проведении экспериментальных исследований использовалась установка, схема которой приведена на рис. 1. Для анализа процесса испарения неоднородных капель жидкости в высокотемпературной области применялись оптические методы диагностики двухфазных газопарожидкостных потоков *Particle Image Velocimetry* (PIV) и *Interferometric Particle Imaging* (IPI) [20–22].

Экспериментальная установка (см. рис. 1), аналогичная описанной в [15, 16], включает: кросскорреляционную видеокамеру 3 с форматом изображения 2048×2048 пикселей, кадровой частотой не менее 1,5 Гц, минимальной задержкой между двумя последовательными кадрами не более 5 мкс; двойной импульсный твердотельный лазер 2 с активной сферой “алюмоиттриевый гранат” и добавками неодима, имеющий длину волны 532 нм, энергию в импульсе — не менее 70 мДж, длительность импульса — не более 12 нс, частоту повторений — не более 15 Гц; синхронизирующий процессор 5 с дискретизацией сигналов не более 10 нс.

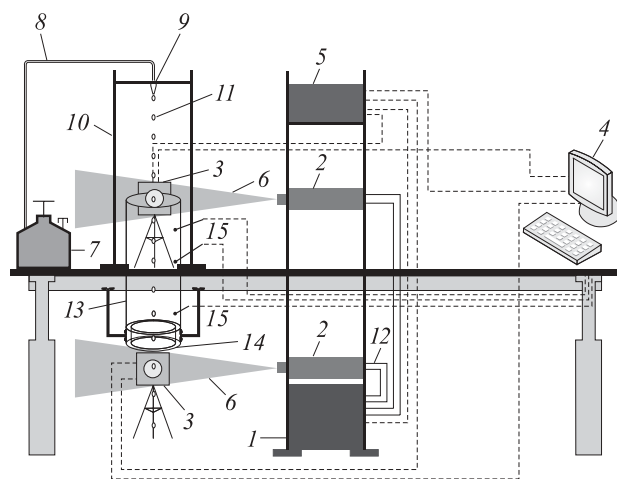


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — генератор лазерного излучения; 2 — двойной твердотельный импульсный лазер; 3 — кросскорреляционная камера; 4 — персональный компьютер (ПК); 5 — синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 6 — световой “нож”; 7 — емкость с рабочей жидкостью; 8 — канал подачи рабочей жидкости; 9 — дозатор; 10 — штатив; 11 — капли рабочей жидкости; 12 — канал движения охлаждающей жидкости лазера; 13 — цилиндрический канал из жаростойкого светопрозрачного материала; 14 — полый цилиндр, в межстеночное пространство которого залита горючая жидкость; 15 — термопары

Согласно методике эксперименты проводились следующим образом. В основание светопрозрачного жаростойкого цилиндрического канала 13 (высота 1 м, диаметр 0,2 м) устанавливался полый цилиндр 14 (высота 0,1 м, диаметр внутренней и внешней стенок соответственно 0,10 и 0,18 м). В межстеночное пространство цилиндра 14 заливалась горючая жидкость со стабильными свойствами — керосин. Перед началом опытов инициировалось ее зажигание. В процессе горения керосина во внутреннем пространстве цилиндрического канала 13 формировалось пламя и, как следствие, поток высокотемпературных продуктов сгорания. Через некоторое время (около 5 мин), необходимое для прогрева внутренней полости цилиндрического канала 13 до постоянной температуры (около 1100 К), рабочая жидкость из емкости 7 по каналу 8 подавалась на вход дозатора 9. Выставлялись необходимые параметры истечения жидкости (в частности, начальные размеры капель — от 1 до 5 мм). Дозатором 9 осуществлялась подача капель рабочей жидкости в канал 13, заполненный высокотемпературными продуктами сгорания. При помощи “ножа” 6 лазера 2 обеспечивалась подсветка траектории движения капель. Процедура видеорегистрации проводилась кросскорреляционной камерой 3. Видеоизображения передавались на персональный компьютер 4 для их обработки. Вычислялись максимальные диаметры капель и определялись их условные средние радиусы R_d . Фиксировалось изменение размеров капель жидкости при движении через высокотемпературную газовую среду. Аналогично экспериментальным методикам [15, 16] выполнялись относительные оценки убыли массы капель и парообразования в высокотемпературном газовом потоке.

В качестве рабочей жидкости (аналогично опытам [15, 16]) в экспериментах использовалась вода с частицами нанопорошка диоксида титана (около 0,5 % масс.). Добавлялись также типичные твердые неметаллические (углерод) и металлические (алюминий) частицы малых размеров (50–500 мкм). Относительная массовая концентрация твердых включений γ в каплях воды варьировалась в диапазоне 0–1 %.

Эксперименты проводились в два этапа. На первом этапе оценивалось влияние размеров твердых включений в капле жидкости на полноту ее испарения при прохождении зоны пламени. Для этого использовались три состава жидкости, различающиеся размерами L_m содержащихся в них твердых включений: № 1 — $L_m = 50 \div 70$ мкм, № 2 — $L_m = 250 \div 300$ мкм, № 3 — $L_m = 450 \div 500$ мкм. Для каждого из составов жидкостей фиксировались изменения размеров капель R_d при их прохождении через зону пламени. На втором этапе проводились

эксперименты по оценке влияния концентрации твердых включений в водном растворе на характеристики испарения капель жидкости при прохождении их через пламя.

Аналогично опытам [15, 16] для численной оценки доли испарившейся жидкости применялся параметр ΔR (%), характеризующий относительное изменение размеров капель при движении через пламя:

$$\Delta R = \frac{R_d - R_d^*}{R_d} \cdot 100,$$

где R_d^* — условный радиус капли на выходе из высокотемпературного канала, мм.

Размеры капель в регистрационных областях видеogramм (до и после прохождения ими высокотемпературной газовой среды) определялись с использованием оптического метода IPI [20, 21]. При многократном (около 100 раз в секунду) освещении капель в регистрационной области “ножом” б наблюдалась интерференция между отраженным и преломленным каплями светом. По числу наблюдаемых на видеogramмах интерференционных полос определялись размеры капель в потоке газов [20, 21]. Так как капли воды на видеogramмах представляли собой эллипсоиды, с использованием метода IPI [20, 21] вычислялись средние значения максимальных диаметров и характерные значения условных радиусов R_d . Систематические погрешности измерения размеров капель, определенные по методикам [23, 24], составили 0,001 мм.

Температура газов (продуктов сгорания) в канале 13, контролируемая хромель-алюмелевыми термопарами (диапазон измеряемых температур 273–1373 К с допустимым отклонением $\Delta = 3,3$ К) на разных по высоте уровнях (0,15; 0,50 и 0,85 м), составляла (1070 ± 30) К. Начальные температуры водных составов, контролируемые хромель-копелевыми термопарами (диапазон измеряемых температур 233–573 К с допустимым отклонением $\Delta = 2,5$ К), составляли 298 К. Использовались известные методики термодинамических измерений [25].

Результаты экспериментов и их обсуждение

Опыты с типичными неметаллическими (углерод) и металлическими (алюминий) включениями показали, что их распределение в каплях воды при равной относительной массовой концентрации и достаточно малых размерах (около 50 мкм) существенно различается. Так, для металлических частиц, плотность которых значительно (в несколько раз) превышает плотность воды, наблюдались процессы “осаждения” включений в каплях. Формировались общие центры твердых включений в малой окрестности поверхности капель. Происходила существенная деформация поверхности капель и их последующее разрушение (дробление). Установлено, что при снижении плотности твердых включений влияние выделенных эффектов ослабевает. Так, например, эксперименты показали, что для неметаллических (углеродистых) частиц при варьировании их размеров L_m и относительной концентрации γ_C в широких диапазонах ($50 < L_m < 500$ мкм, $0 < \gamma_C < 1$ %) можно реализовать достаточно равномерное распределение включений в каплях размерами более 1 мм.

На рис. 2 приведены типичные видеogramмы одиночных капель воды (условный радиус $R_d = 3$ мм) с твердыми включениями (углеродистые частицы размером от 50 до 500 мкм). Из рис. 2, б и 2, в видно, что при $L_m > 200$ мкм частицы в форме неправильных многоугольников хаотичным образом ориентированы относительно друг друга, но достаточно равномерно распределены в каплях жидкости. Это можно объяснить, в первую очередь, их перемещениями в каплях воды вследствие конвекции. Частицы с размерами $L_m \leq 70$ мкм удалены друг от друга на достаточно равные расстояния и близки друг к другу по форме (см. рис. 2, а).

На рис. 3 представлена зависимость параметра ΔR от относительной массовой концентрации углеродистых частиц γ_C размером 50–70 мкм в каплях воды с условным начальным радиусом $R_d = 3$ мм.

Установлено (см. рис. 3), что с ростом γ_C от 0 до 1 % существенно (почти в 3 раза) увеличивается па-



Рис. 2. Видеogramмы капель воды ($R_d = 3$ мм) с включениями углеродистых частиц размером 50–70 мкм (а), 250–300 мкм (б), 450–500 мкм (в): 1 — капля; 2 — углеродистые частицы

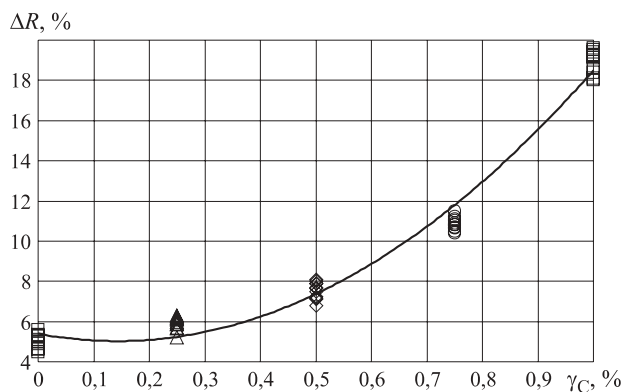


Рис. 3. Зависимость параметра ΔR от относительной массовой концентрации γ_C углеродистых частиц средним размером 50–70 мкм для капель с $R_d = 3$ мм

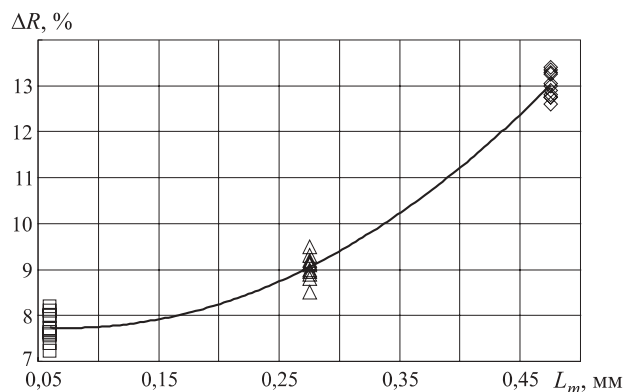


Рис. 4. Зависимость параметра ΔR от характерного среднего размера углеродистых частиц L_m для капель с $R_d = 3$ мм ($\gamma_C = 0,5 \%$)

параметр ΔR и, как следствие, значительно возрастает доля испарившейся жидкости и интенсивность парообразования при движении капель воды через высокотемпературную газовую среду. Этот эффект можно объяснить тем, что даже при относительно небольшом увеличении γ_C теплопроводность неоднородной системы *капля воды – твердые включения* повышается в несколько раз. В результате значительно сокращается время, необходимое для прогрева приповерхностного слоя капли воды и последующего эндотермического фазового превращения.

При движении капель воды с твердыми включениями через высокотемпературную газовую среду (продукты сгорания) прогрев жидкости происходит с реализацией кондуктивного, конвективного и радиационного механизмов теплопереноса (в экспериментах наблюдались перемещения частиц в каплях и их “свечение”). Твердые включения поглощают существенно больше энергии излучения (продуктов сгорания) по сравнению с водой. Таким образом, теплота, аккумулируемая в системе *капля воды – твердые включения*, возрастает. В малой окрестности твердых включений формируются локальные области фазовых превращений. Это, в свою очередь, приводит к перемещению как твердых включений, так и непосредственно слоев жидкости внутри капли, т. е. реализуется конвективный теплоперенос.

При увеличении размеров твердых включений в каплях жидкости влияние выделенных эффектов на интенсивность прогрева жидкости существенно возрастает. Так, на рис. 4 приведена зависимость параметра ΔR от характерного среднего размера углеродистых частиц L_m для одиночных капель с условным радиусом $R_d = 3$ мм. Показано, что при средних размерах частиц 50–70 мкм значение ΔR составляет 7,6 %, 250–300 мкм — 9,1 %, 450–500 мкм — 12,9 %. На рис. 3 и 4 можно отметить хорошую повторяемость результатов опытов.

Были проведены также эксперименты для установления предельных размеров твердых включе-

ний в каплях жидкости, приводящих к разрушению (разрыву) последних. Размеры капель жидкости выбирались адекватными технологиям [1–9] (от нескольких десятков до сотен микрометров), предполагающим использование “тонкораспыленной” воды. Выявлено, что, например, для капель с условным средним радиусом 0,1–0,15 мм при прохождении ими высокотемпературного газового канала высотой 1 м предельные значения L_m составляют 60–70 мкм. Полученный результат показывает, что наличие в капле одного относительно крупного твердого включения ускоряет процессы ее прогрева, деформации и разрушения более существенно по сравнению с несколькими включениями меньших размеров. Результаты выполненных экспериментов позволяют заключить, что для достижения условий разрыва капель жидкости в зоне пламени размеры входящих в их состав твердых частиц должны варьироваться в пределах 50–70 % от размеров капель. Установленные особенности достаточно хорошо согласуются с основными заключениями современной теории газопарокапельных потоков [26].

Выявленные эффекты можно использовать для интенсификации процессов испарения локально “сбрасываемой” (подаваемой) в зону горения жидкости. Так, например, при относительно небольшой концентрации твердых включений (до 1 %) не требуется существенного измельчения капель жидкости, а целесообразна лишь порционная подача последней. За счет кондуктивного, конвективного и лучистого теплообмена капли движущейся в виде определенных порций (“слоев”) жидкости будут деформироваться и разрушаться, вследствие чего будет формироваться парокапельное облако. Эффективность воздействия таких неоднородных многофазных смесей по сравнению с монолитной водой обоснована многочисленными исследованиями [1–16].

Результаты выполненных экспериментов позволяют сделать вывод о существенной роли качества подаваемой в зону горения воды. В практике пожа-

ротушения при заборе жидкости из водоемов воздушными судами возможна реализация условий, при которых в тушащем веществе будут находиться различные по физической природе твердые включения. Их относительная концентрация может существенно превышать $\gamma = 1\%$. В этом случае очень сложно прогнозировать последствия тушения пожара, контролировать этот процесс и обеспечивать повышение его эффективности. Поэтому при заборе воды целесообразно уделять особое внимание наличию возможных инородных включений в ее составе.

Заключение

В результате экспериментов установлено, что наличие типичных твердых неметаллических включений в относительно крупных каплях жидкости ($R_d = 1\div 5$ мм) оказывает существенное влияние на

процесс испарения последних при прохождении зоны высокотемпературных продуктов сгорания. Установлено, что рост массовой концентрации, а также размеров твердых включений в капле воды существенно (в несколько раз) интенсифицирует парообразование и убыль массы жидкости. Полученные результаты показывают, что для повышения эффективности использования воды в зоне пламени, помимо измельчения капель, целесообразно специальное введение твердых включений в состав тушащей жидкости. При этом размеры включений следует выбирать в несколько раз меньше генерируемых капель жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ (МК–620.2012.8) и РФФИ (№ 13–08–90703).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wighus R. Water mist fire suppression technology — status and gaps in knowledge // Proceedings of the International Water Mist Conference. — Vienna, 2001. — P. 1–26.
2. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles // Fire Safety Science : Proceeding of Eight International Symposium. — 2005. — Vol. 27. — P. 753–764.
3. Соковиков В. В., Тузов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
4. Сегаль М. Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
5. Корольченко Д. А., Громоной В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
6. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires // Suppression and Detection Research and Applications Conference. — Orlando, USA, 2007.
7. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression test using a handheld water mist extinguisher designed for the International Space Station // 42nd International Conference on Environmental Systems. — California, USA, 2012.
8. Rodriguez B., Young G. Development of International Space Station fine water mist portable fire extinguisher // 43rd International Conference on Environmental Systems. — Vail, CO, 2013.
9. Ковалев А. Н., Журавлева Л. А. Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // Научная жизнь. — 2012. — № 4. — С. 153–157.
10. Абдурагимов И. М. Несостоятельность идеи применения тонкораспыленной и “термоактивированной” (перегретой) воды для пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 54–58.
11. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
12. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандела” капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
13. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 74–79.

14. *Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
15. *Волков Р. С., Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Экспериментальное исследование закономерностей испарения тонкораспыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 35, № 9. — С. 38–46.
16. *Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* О некоторых физических закономерностях испарения распыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 322, № 6. — С. 45–52.
17. *Хасанов И. Р., Москвиллин Е. А.* Авиационные методы тушения крупных лесных пожаров // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : матер. XV науч.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 1999. — Ч. 1. — С. 300–301.
18. *Горшков В. С., Москвиллин Е. А., Хасанов И. Р.* Оценка параметров тушения лесных пожаров авиационными средствами // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников : сб. тез. науч.-практ. конф. — М. : ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2001. — С. 34–35.
19. *Кузнецов Г. В., Барановский Н. В.* Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
20. *Keane R. D., Adrian R. J.* Theory of cross-correlation analysis of PIV images // Applied Scientific Research. — 1992. — Vol. 49. — P. 191–215.
21. *Westerweel J.* Fundamentals of digital particle image velocimetry // Measurement Science and Technology. — 1997. — Vol. 8. — P. 1379–1392.
22. *Foucaut J. M., Stanislas M.* Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields // Measurement Science and Technology. — 2002. — Vol. 13. — P. 1058–1071.
23. *Шенк Х.* Теория инженерного эксперимента. — М. : Мир, 1972. — 381 с.
24. *Зайдель А. Н.* Элементарные оценки ошибок измерений / Академия наук СССР. — 3-е изд., испр. и доп. — Л. : Наука, 1968. — 96 с.
25. *Полежаев Ю. В., Юрьевич Ф. Б.* Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.
26. *Терехов В. И., Пахомов М. А.* Тепломассоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. — 284 с.

Материал поступил в редакцию 7 ноября 2014 г.

English

INFLUENCE OF SOLID INCLUSIONS IN LIQUID DROPS ON EVAPORATION INTENSITY IN THE FLAME

VOLKOV R. S., Assistant of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: romanvolkov@tpu.ru)

ZABELIN M. V., Postgraduate Student of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: zabelinmv@tpu.ru)

KUZNETSOV G. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Theoretical and Industrial Heat Engineering Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: elf@tpu.ru)

STRIZHAK P. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

ABSTRACT

The article presents scheme, technique and experimental investigation results of containing in water drops solid inclusions (nonmetallic and metal particles) influence on sizes changes, decrease of liquid weight and the evaporation intensity at movement through the flame zone. The modern high-speed

measuring system of two-phase vapor-liquid streams diagnostics on the basis of *Particle Image Velocimetry* (PIV) and *Interferometric Particle Imaging* (IPI) optical methods is used for the recording and processing of video frames. It is established that the measurement errors of liquid droplet sizes amounted to 0.001 mm.

Video frames of the drops containing solid inclusions in the form of carbon particles of the fixed sizes $(50\div 500)\cdot 10^{-6}$ m are provided. Limit changes of the drops sizes at movement through a flame are established. Influence of solid particles in liquid drops on completeness of their evaporation at moving through the flame with fixed height is analyzed. Dependences of the evaporated liquid share on concentration and the sizes of containing in it solid particles for water drops with sizes of 3 mm are presented. It is established that for achievement of liquid drops crushing in a flame zone the sizes of entering into their structure solid particles have to vary within 50–70 % from the drops sizes.

It is shown that for intensification of liquids evaporation in a flame zone is expediently specialized introduction to its structure of solid inclusions.

Keywords: flame; combustion products; water; drops; solid inclusions; evaporation; quenching.

REFERENCES

1. Wighus R. Water mist fire suppression technology — status and gaps in knowledge. *Proceedings of the International Water Mist Conference*. Vienna, 2001, pp. 1–26.
2. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles. *Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium*, 2005, vol. 27, pp. 753–764.
3. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatic water fire extinguishing with using of sprayed water at power plants]. *Energetik — Power Engineer*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
4. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspylennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity kabelnykh sooruzheniy AES [The water mist system for cable construction of nuclear power plant fire protection]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2011, no. 4, pp. 61–64.
5. Korol'chenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysokotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
6. Abbud-Madrid A., Watson D., McKinnon J. T. On the effectiveness of carbon dioxide, nitrogen and water mist for the suppression and extinction of spacecraft fires. *Suppression and Detection Research and Applications Conference*. Orlando, USA, 2007.
7. Carriere T., Butz J. R., Naha S., Brewer A., Abbud-Madrid A. Fire suppression test using a handheld water mist extinguisher designed for the International Space Station. *42nd International Conference on Environmental Systems*. California, USA, 2012.
8. Rodriguez B., Young G. Development of International Space Station fine water mist portable fire extinguisher. *43rd International Conference on Environmental Systems*. Vail, CO, 2013.
9. Kovalev A. N., Zhuravleva L. A. Perspektivnyye napravleniya tusheniya nizovykh lesnykh i stepnykh pozharov [Perspective directions of the ground forest and steppe fires firefighting]. *Nauchnaya zhizn — Scientific Life*, 2012, no. 4, pp. 153–157.
10. Abduragimov I. M. Nesostoyatel'nost idei primeneniya tonkoraspylennoy i "termoaktivirovannoy" (peregretoy) vody dlya pozharotusheniya [The failure of the idea of applying mist and the "thermally activated" (superheated) water for firefighting]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 54–58.
11. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at places]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
12. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii "tandema" kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical research of heat-and-mass transfer at movement of water drops "tandem" in the high temperature gas mixture]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.

13. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of interaction conditions of the dispersed burning phlegmtizator with high temperature combustion products]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
14. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat-and-mass transfer at water drops movement in the high-temperature gas mixture]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.
15. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye zakonornostey ispareniya tonkoraspylennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Experimental research of evaporation regularities for pulverized water moving through high-temperature combustion products]. *Butlerovskiye soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 35, no. 9, pp. 38–46.
16. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. O nekotorykh fizicheskikh zakonornostyakh ispareniya raspylennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [About some physical evaporation regularities of the sprayed water at movement through high-temperature combustion products]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 6, pp. 45–52.
17. Khasanov I. R., Moskvilin Ye. A. Aviatsionnyye metody tusheniya krupnykh lesnykh pozharov [Aviation methods of major forest fires suppression]. *Materialy XV nauchno-prakticheskoy konferentsii “Problemy goreniya i tusheniya pozharov na rubezhe vekov”* [Materials of XV Scientific Conference “Problems of burning and suppression of fires at a turn of centuries”]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1999, part 1, pp. 300–301.
18. Gorshkov V. S., Moskvilin Ye. A., Khasanov I. R. Otsenka parametrov tusheniya lesnykh pozharov aviatsionnymi sredstvami [Assessment of parameters of forest fires suppression by aviation means]. *Sbornik tezisov nauchno-prakticheskoy konferentsii “Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy i ikh istochnikov”* [Collection of scientific and practical conference theses “Forecasting problems of emergency situations and their sources”]. Moscow, IITS VNII GOChS Publ., 2001, pp. 34–35.
19. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fires emergence and their ecological consequences]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009. 301 p.
20. Keane R. D., Adrian R. J. Theory of cross-correlation analysis of PIV images. *Applied Scientific Research*, 1992, vol. 49, pp. 191–215.
21. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry. *Measurement Science and Technology*, 1997, vol. 8, pp. 1379–1392.
22. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields. *Measurement Science and Technology*, 2002, vol. 13, pp. 1058–1071.
23. Shenk Kh. *Teoriya inzhenerenogo eksperimenta* [Theory of engineering experiment]. Moscow, Mir Publ., 1972. 381 p.
24. Zaydel A. N. *Elementarnyye otsenki oshibok izmereniy* [Simple estimates of measurement errors]. The Academy of Sciences of the USSR. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 96 p.
25. Polezhaev Yu. V., Yuryevich F. B. *Teplovaya zashchita* [Thermal protection]. Moscow, Energiya Publ., 1976. 391 p.
26. Terekhov V. I., Pakhomov M. A. *Teplomassoperenos i gidrodinamika v gazokapelnnykh potokakh* [Heat-and-mass transfer and hydrodynamics in gas-drop streams]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2009. 284 p.

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАНКБ, старший научный сотрудник научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

К. С. АЛЕКСЕЕВ, аспирант научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: brigalider@gmail.com)

В. В. СМЕРНОВ, преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); аспирант научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: s_vitaly2006@list.ru)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

УДК 614.841

ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ. ЧАСТЬ IV. ДЕСКРИПТОРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА¹

Приведен обзор методик дескрипторного метода прогнозирования температуры вспышки органических жидкостей. Показано, что дескрипторы условно подразделяются на четыре типа: 1) физико-химические и пожароопасные параметры жидкостей; 2) индикаторные переменные, отражающие наличие или отсутствие в молекуле того или иного структурного фрагмента (заместителя); 3) топологические индексы, характеризующие особенности строения молекулы; 4) стереоэлектронные или квантово-химические характеристики, связанные с пространственным строением молекулы и электронными параметрами атомов.

Ключевые слова: температура вспышки; расчет; прогноз; дескриптор.

Настоящая статья завершает цикл наших работ по обзору методов прогнозирования температуры вспышки (далее — ТВ) индивидуальных жидкостей. Ранее нами были рассмотрены способы расчета ТВ через давление насыщенного пара и температуру кипения [1, 2].

Под молекулярными дескрипторами или просто дескрипторами понимаются различные параметры молекулы, которые используются для оценки тех или иных свойств химического соединения. Дескрипторы, применяемые в прогнозировании, условно делятся на четыре группы [3]:

1) физико-химические и пожароопасные параметры, описывающие объемные, геометрические и другие характеристики горючего вещества (далее — ГВ);

2) индикаторные переменные, отражающие наличие либо отсутствие в молекуле того или иного структурного фрагмента (заместителя);

3) топологические индексы, характеризующие особенности строения молекулы на основании плоского графа;

4) стереоэлектронные или квантово-химические характеристики, связанные с пространственным строением молекулы и электронными параметрами атомов.

Прогнозирование температуры вспышки на основе физико-химических и пожароопасных параметров

Методы расчета температуры вспышки горючих (ГЖ) и легковоспламеняющихся (ЛВЖ) жидкостей через температуру кипения и давление насыщенного пара рассмотрены в работах [1, 2].

Монаховым В. Т. на основе анализа более 2000 органических и элементарноорганических соединений найдены линейные взаимосвязи между температурой вспышки² и нижним температурным пределом воспламенения t_n [4–6]:

$$t_{всп} = t_n + 5 \text{ при } t_n < 70 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (1)$$

$$t_{всп} = 1,06t_n + 0,8 \text{ при } t_n \geq 70 \text{ }^\circ\text{C}; \quad (2)$$

$$t_{всп} = (t_n + 2)/0,875 \text{ при } 0 \leq t_n \leq 160 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3)$$

¹ Окончание. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность” № 5 и № 10 за 2012 г., № 3 за 2014 г.

² По умолчанию температура, обозначенная t , приводится в $^\circ\text{C}$, T — в К.

Таблица 1. Значения коэффициента a в уравнении (6)

Класс соединений	a
Алканы и алкены в газовой фазе	350
Алканы и алкены в жидкой фазе	250
Алкильные производные бензола	550

В настоящее время существуют и модификации уравнения (3), предложенные Евлановым и Роулеем (Rowley) [7, 8]:

$$t_{\text{всп}} = (t_{\text{н}} + 2)/0,96; \quad (4)$$

$$T_{\text{всп}} = (T_{\text{н}} + 2)/0,9217. \quad (5)$$

Для парафинов, олефинов и производных бензола установлена взаимосвязь температур вспышки и самовоспламенения $t_{\text{свс}}$ (°C) [9]:

$$t_{\text{всп}} = a - (t_{\text{свс}} - k_i), \quad (6)$$

где a — константа; значения коэффициента a приведены в табл. 1;

k_i — константа; $k_1 = 9$ — для группы CH_3 — основной углеродной цепи; $k_2 = 21$ — для CH_3 — боковой углеродной цепи; $k_3 = 12$ — для $-\text{CH}_2-$; $k_4 = 16$ — для $>\text{CH}-$.

В работе [10] ИК-спектры алканов в диапазоне $550\text{--}3798\text{ см}^{-1}$ использованы как исходные данные для дескрипторов, которые определены по уравнению

$$d_{ij} = h_{ij} / \sum_{j=1}^{j=n} h_{ij}, \quad (7)$$

где d_{ij} — рабочие значения дескрипторов;

h_{ij} — ординаты поглощения в спектре вещества i в точке j ;

n — количество точек в ИК-спектре, $n = 813$.

Далее в компьютерной программе PROGROC с помощью формулы (8) выполнен расчет ТВ алканов:

$$t_{\text{всп}} = CV\Gamma^{-1}U^T b, \quad (8)$$

где C — контрольная субматрица матрицы D , составленной из дескрипторов d_{ij} ;

V — матрица, состоящая из собственных векторов матричного момента $A^T A$;

Γ — диагональная матрица из ненулевых сингулярных чисел, совпадающих для обоих матричных моментов;

U — матрица, состоящая из собственных векторов матричного момента AA^T ;

b — вектор значений свойства тренировочной выборки веществ.

Для $\text{C}_1\text{--C}_{18}$ бромалканов показана взаимосвязь между ТВ и теплотой их парообразования $H_{\text{пар}}$ (кДж/кг) [11]:

$$T_{\text{всп}} = 25,636H_{\text{пар}}^{0,69}. \quad (9)$$

Прогнозирование температуры вспышки с помощью индикаторных переменных

Число атомов углерода n_{C} или водорода n_{H} нередко используется в качестве дескриптора при прогнозировании ТВ. Так, для алканов, спиртов и алкильных производных бензола выведена следующая формула [9]:

$$t_{\text{всп}} = a - b + k, \quad (10)$$

где a — поправка на класс соединений (табл. 2);

k — индекс изомеризации; $k = 9$ — для CH_3 -группы во вторичной углеродной цепи (ответвление в основной углеродной цепи), $k = 21$ — для каждой CH_3 -группы в третичной цепи (ответвление в цепи заместителя), $k = 16$ — для каждой CH_2 -группы во вторичной углеродной цепи, $k = 16$ — для каждой CH_2 -группы в третичной цепи;

b — функция от n_{C} (см. табл. 2).

Найдены линейные зависимости ТВ от длины углеродной цепи для алканолов и кетонов [12–14]:

$$t_{\text{всп}} = an_{\text{C}} - b. \quad (11)$$

Коэффициенты a и b в формуле (11) определяются по табл. 3.

Для алифатических алканов, кетонов, карбоновых кислот, галогеналканов, алкилмеркаптанов, тиоэфиров, простых и сложных эфиров, моно- и диалкиламинов предложены нелинейные уравнения для определения ТВ в зависимости от числа атомов углерода в молекуле (табл. 4) [11, 13, 15–19].

Для алифатических спиртов найдены формулы для прогноза ТВ через число атомов водорода в молекуле [9]:

Таблица 2. Значения параметров a и b в уравнении (10)

Класс соединений	a	b
Алканы в газовой фазе ¹⁾	350	$660/\sqrt[3]{N_{\text{C}}}$
Алканы в жидкой фазе ¹⁾	250	$660/\sqrt[3]{N_{\text{C}}} - 100$
Бензол и алкилбензолы	550	$660/\sqrt[3]{N_{\text{C}}} + d^2$

¹⁾ При нормальных условиях.

²⁾ $d = 200 - 10n$, где n — число атомов углерода, присоединенных к основной углеродной цепи соединения; $d = 200 - 30m$, где m — число атомов углерода, присоединенных к углеродной цепи заместителя.

Таблица 3. Значения коэффициентов a и b в уравнении (11)

Класс соединений	a	b
Алканолы	11,42	8,22
Альдегиды	14,799 ¹⁾	203,7 ¹⁾
Кетоны	13,73	58,7

¹⁾ Для расчета ТВ в К.

Таблица 4. Уравнения для определения ТВ

Класс соединений	Уравнение
Алканы	$t_{\text{всп}} = -371,81 + 178,146N_C^{0,371}$
Кетоны	$t_{\text{всп}} = 901,75 - 53513/(N_C + 55)$
Простые эфиры	$T_{\text{всп}} = 10^4 N_C^{0,5} / (8,93N_C^{0,5} + 67,82); T_{\text{всп}} = -0,5466N_C^2 + 23,447N_C + 149,68$
Карбоновые кислоты	$T_{\text{всп}} = -0,57N_C^2 + 20,43N_C + 273,0$ при $2 \leq N_C \leq 12$; $T_{\text{всп}} = 69,10 \ln(N_C) + 235,6$ при $13 \leq N_C \leq 26$; $T_{\text{всп}} = -0,09N_C^2 + 7,18N_C + 335,2$ при $13 \leq N_C \leq 26$
Сложные эфиры	$T_{\text{всп}} = -0,3107N_C^2 + 17,475N_C + 206,4$ при $13 \leq N_C \leq 26$
Хлоралканы	$T_{\text{всп}} = 24,03N_C - 0,595N_C^2 + 177$ при $2 \leq N_C \leq 17$
Бромалканы	$T_{\text{всп}} = 211,4 - 0,57N_C^2 + 21,7N_C$ при $1 \leq N_C \leq 18$
Иодалканы	$T_{\text{всп}} = 262,7 - 17,93N_C + 14,33N_C^2 - 2,47N_C^3 + 0,183N_C^4 - 0,005N_C^5$ при $1 \leq N_C \leq 12$
Фторалканы	$T_{\text{всп}} = 167,8 + 23,93N_C^{0,5} \ln(N_C)$ при $1 \leq N_C \leq 12$
Алкилмеркаптаны ¹⁾	$T_{\text{всп}} = 205,24 - 0,26N_C^2 + 18,76N_C$ при $1 \leq N_C \leq 12$
Тиоэфиры ¹⁾	$T_{\text{всп}} = (12,13 + 2,17\sqrt{N_C})^2$ при $2 \leq N_C \leq 16$
Моноалкиламины ¹⁾	$T_{\text{всп}} = 212,73 + 26,6(\ln N_C)^2$ при $1 \leq N_C \leq 18$
Диалкиламины ¹⁾	$T_{\text{всп}} = -0,057N_C^3 + 1,1363N_C^2 + 8,83N_C + 200,77$ при $2 \leq n_C \leq 16$

¹⁾ Данные авторов.

$$t_{\text{всп}} = 8 + N_H \text{ при } M \leq 60; \quad (12)$$

$$t_{\text{всп}} = 11 + 2N_H \text{ при } 60 < M \leq 88; \quad (13)$$

$$t_{\text{всп}} = 29 + 3N_H \text{ при } M > 88, \quad (14)$$

где M — молекулярная масса.

Температура вспышки ненасыщенных углеводородов, включая ароматические соединения, может быть рассчитана с помощью уравнения

$$T_{\text{всп}} = 167,1 + 19,68N_C - 2,915N_H + 16,77\text{FP}^{(+)} - 32,66\text{FP}^{(-)}, \quad (15)$$

где N_C, N_H — количество атомов углерода и водорода в молекуле ГВ;

$\text{FP}^{(+)}, \text{FP}^{(-)}$ — поправочные коэффициенты.

Коэффициент $\text{FP}^{(+)}$ учитывает число метильных групп n_{Me} в бензольном кольце и определяется как $0,25n_{Me}$, а $\text{FP}^{(-)}$ учитывает связи $C=C$ и $C \equiv C$ в молекуле ГВ. Для ароматических соединений принимаются во внимание изопропильные ($i\text{-Pr}$), третбутильные ($t\text{-Bu}$) и нормальные алкильные группы с числом атомов углерода не менее 10. Для первых двух групп $\text{FP}^{(-)}$ рассчитывается соответственно как $0,25n_{i\text{-Pr}}$ и $0,25n_{t\text{-Bu}}$, а для длинных алкильных заместителей $\text{FP}^{(-)} = 1$. Для ацетиленов $R-C \equiv CH$, олефинов с двумя алкильными группами у двойной $C=C$ -связи и диенов $R_1-CH=CH-CH=CH-R_2$ и $R_1-CH=C=CH-R_2$ коэффициент $\text{FP}^{(-)}$ является функцией от числа атомов углерода в радикале R (n_{CR}): $\text{FP}^{(-)} = 1,25 - 0,25n_{CR}$ (для ацетиленов при $n_{CR} \leq 4$), $\text{FP}^{(-)} = 2,25 - 0,25n_{CR}$ (для олефинов при $n_{CR} \leq 2$),

$\text{FP}^{(-)} = 1,0 - 0,5n_{CR}$ (для диенов $R_1-CH=CH-CH=CH-R_2$ и $R_1-CH=C=CH-R_2$) [20].

В дальнейшем формула (15) была скорректирована, и область ее применения была дополнительно распространена на алканы и циклоалканы:

$$T_{\text{всп}} = 158,7 + 19,86N_C - 2,40N_H + 51,12\text{FP}^{(+)} - 49,63\text{FP}^{(-)}. \quad (16)$$

При этом ревизия коснулась и способов определения поправочных коэффициентов $\text{FP}^{(+)}$ и $\text{FP}^{(-)}$. Для циклоалканов и нормальных алканов с $n_C \geq 14$ $\text{FP}^{(+)}$ равен соответственно 0,40 и 0,25, для ароматических соединений с метильными заместителями — $(0,1n_{Me})$. Для циклопропанов и циклобутанов $\text{FP}^{(-)} = 0,2$, для ациклических алканов (при $n_C \leq 5$) $\text{FP}^{(-)}$ определяется как $1,40 - 0,35(N_C - 1,3)$. Для бензолов с двумя или более изопропильными группами и третбутильным заместителем $\text{FP}^{(-)}$ вычисляется как $0,85n_{i\text{-Pr}}$ и $1,5n_{t\text{-Bu}}$ соответственно. Для бензолов с линейными алкильными заместителями $\text{FP}^{(-)} = 0,5$ (при $n_{CR} = 10 \div 12$) и $\text{FP}^{(-)} = 1,0$ (при $n_{CR} > 12$). Для монозамещенных 1-алкинов, олефинов $R_1-CH=CH-R_2$, диенов $R_1-CH=CH-CH=CH-R_2$ и $R_1-CH=C=CH-R_2$ параметр $\text{FP}^{(-)}$ определяется как $1,16 - 0,18n_C$ (при $N_C \leq 6$), $1,55 - 0,25N_C$ (при $N_C \leq 4$), $1,75 - 0,3N_C$ и $0,95 - 0,1N_C$ соответственно [21].

В Китае на основе метода трех переменных, который ранее был использован для расчета основных физико-химических характеристик органических

соединений [22], разработано уравнение (17) для расчета ТВ [23]:

$$T_{\text{всп}} = 27,0 + 13,5 \times \left[\sum_i (g_i^{(0)} + n_i(g_i^{(1)} + z_i g_i^{(2)}) - 59,7) \right]^{0,4}, \quad (17)$$

где $g_i^{(0)}, g_i^{(1)}, g_i^{(2)}$ — структурные дескрипторы;
 n_i — количество i -х фрагментов;
 $z_i = n_i / \sum n_i$.

Ивановскими исследователями разработан аддитивно-групповой метод расчета ТВ, апробированный на трех классах органических соединений (спирты, кетоны и сложные эфиры). Прогноз осуществляется с помощью формулы (18). Особенностью этого метода является учет структурных фрагментов, соединенных с функциональной группой ($-\text{CO}_2$, $-\text{CO}$ и $-\text{OH}$) наряду с общим выделением структурных элементов молекулы ГВ [24–27]. Правило выбора структурного элемента, расположенного рядом с функциональной группой, подробно описано в диссертации Батова [28]:

$$t_{\text{всп}} = T_f(Y_p) + \delta T_f(Y_{pp}) + \delta T_f(Y_s) + \delta T_f(Y_t) + \sum_{i=1}^n [y_i T_f(\text{CH}_{y,i}) + p_i T_f(\text{CH}_{p,i}) + s_i T_f(\text{CH}_{s,i}) + t_i T_f(\text{CH}_{t,i}) + h_i T_f(\text{CH}_{h,i})], \quad (18)$$

где $T_f(Y_p)$ — вклад в температуру вспышки полярной группы, связанной с первичным атомом углерода (CH_2 -группой)³;
 $\delta T_f(Y_{pp})$ — параметр, учитывающий отличия в свойствах функциональной группы, атом кислорода которой связан с метильным радикалом;
 $\delta T_f(Y_s), \delta T_f(Y_t)$ — поправки, учитывающие различия в свойствах функциональных групп, связанных со вторичным и третичным атомами углерода;
 $T_f(\text{CH}_{y,i})$ — вклад в температуру вспышки CH -связей атомов углерода, находящихся в первом окружении полярной группы в связанном с ней i -м углеводородном радикале;
 $T_f(\text{CH}_{p,i}), T_f(\text{CH}_{s,i}), T_f(\text{CH}_{t,i}), T_f(\text{CH}_{h,i})$ — вклады в температуру вспышки связей $\text{C}-\text{H}$ соответственно в метильных, метиленовых и метиновых радикалах, а также четвертичного атома углерода, не входящих в первое окружение полярной группы;
 y_i, p_i, s_i, t_i, h_i — количество выделенных структурных фрагментов в i -м углеводородном радикале.

³ В данном случае использование авторами [24–27] термина “первичный атом углерода” по отношению к атому углероду метиленовой группы является некорректным.

Таблица 5. Значения структурных элементов в уравнении (18)

Структурный элемент	Сложные эфиры	Структурный элемент	Алканола ¹⁾		Структурный элемент	Кетоны
$\text{CH}_{p,A}$	5,11	CH_p	5,83	6,53	CH_p	5,57
$\text{CH}_{s,A}$	7,92	CH_s	6,07	5,86	CH_s	6,75
$\text{CH}_{t,A}$	8,37	CH_t	1,92	–1,32	CH_t	11,18
$\text{CH}_{y,A}$	2,76	CH_y	5,83	7,29	CH_y	8,17
Y_p	–34,57	Y_p	–17,07	–23,29	Y_p	–65,98
Y_{pp}	–7,29	Y_{pp}	5,57	7,43	Y_{pp}	0,00
Y_s	0,71	Y_t	–22,12	–30,09	Y_t	–
$\text{CH}_{y,Ac}$	6,59	Y_s	–11,07	–16,01	Y_s	–14,72
$\text{CH}_{s,Ac}$	6,66					
$\text{CH}_{p,Ac}$	6,61					

¹⁾ В левой графе даны коэффициенты, полученные из выборки 23 спиртов, а правой — на основании выборки из 14 соединений. Индексы “А” и “Ас” указывают на атомы углерода спиртовой и кислотной частей молекулы сложного эфира соответственно.

Значения структурных элементов из (18) приведены в табл. 5.

Бразильскими исследователями для ациклических алканов, олефинов, ацетиленов и алкилбензолов предложено уравнение (19), построенное на основе индекса температуры вспышки N_{FP} [29–34], который определяется через дескриптор температуры кипения Y_{BP} [32, 35]:

$$T_{\text{всп}} = 23,369 N_{FP}^{2/3} + 20,010 N_{FP}^{1/3} + 31,901; \quad (19)$$

$$N_{FP} = 0,987 Y_{BP} + 0,176 D + 0,687 T + 0,712 B - 0,176; \quad (20)$$

$$Y_{BP} = 1,726 + 2,779 N_C + 1,716 M_3 + 1,564 M + 4,204 E_3 + 3,905 E + 5,007 P - 0,329 D + 0,241 G + 0,479 V + 0,967 T + 0,574 S + A_i, \quad (21)$$

где D — число 2,2-диметильных группировок (от любого конца молекулы ГВ);

T — число двух метильных радикалов у двух связанных друг с другом атомов углерода или у атомов C_1 и C_3 во фрагменте $\text{C}-\text{C}-\text{C}$ основной цепи молекулы;

B — число бензольных колец в молекуле;

M_3, E_3 — число метильных и этильных групп у третьего углеродного атома (нумерация ведется от любого конца углеродной цепи молекулы);

M, E — число других метильных и этильных групп в молекуле ГВ;

P — число пропильных групп;

G — число геминальных замещений в любых положениях;

V — число вициальных алкильных замещений;

Таблица 6. Значения A_i в уравнении (21)

Тип алкина	A_i	Тип алкена	A_i	Тип бензола	A_i
1-алкин	-0,324	Монозамещенный алкен	-0,392	Монозамещенный бензол	1,313
2-алкин	1,261	Дизамещенный 2-алкен	-0,224	Орто-дизамещенный бензол	0,970
3-алкин	0,298	Дизамещенные 3-, 4-, 5- и другие алкены	-0,548	Мета-дизамещенный бензол	0,658
4-алкин	0,211	Геминально дизамещенный алкен	0,317	Пара-дизамещенный бензол	1,095
5-алкин	0,211	Дизамещенный 2-алкен	-0,224	1,2,3-тризамещенный бензол	1,947
6-алкин	0,211	Тризамещенный алкен	0,473	1,2,4-тризамещенный бензол	1,784
7-алкин и более	0,211	Тетразамещенный алкен	1,391	1,3,5-тризамещенный бензол	1,196

Таблица 7. Значения структурных коэффициентов первого порядка в формуле (22)

Группа	Значение	Группа	Значение	Группа	Значение
-CH ₃	0,6	-CH ₂	10,8	-CH<	12,2
>C<	12,4	CH ₂ =CH-	10,3	-CH=CH-	19,1
CH ₂ =C<	19,1	-CH=C<	37,9	>C=C<	0
CH ₂ =C=CH-	0	HC≡C-	21,8	-C≡C-	24,5
ACH	11,5	AC	20,5	ACCH ₃	23,8
ACCH ₂ -	31,5	ACCH<	36,4	CH ₃ CO-	47,4
CH ₂ CO-	69,7	-CHO	35,5	-COOH	97,3
CH ₃ COO-	53,0	-CH ₂ COO-	61,9	HCOO-	38,4
COO-	54,1	-OH	60,3	ACOH	68,5
CH ₃ O-	22,4	-CH ₂ O-	29,8	>CHO-	28,8
-O(CH ₂) ₂ OH	91,9	-CH ₂ O- (цикл)	28,1	-CH ₂ NH ₂	39,4
>CHNH ₂	33,6	CH ₃ NH-	0	-CH ₂ NH-	44,4
>CHNH-	41,3	CH ₃ N<	51,4	-CH ₂ N<	34,1
ACNH ₂	87,4	-CONH ₂	0	-CONHCH ₃	0
-CONHCH ₂ -	150,1	-CON(CH ₃) ₂	126,3	-CON(CH ₂) ₂	0
C ₅ H ₄ N	104,3	C ₅ H ₃ N	0	-CH ₂ SH	46,1
CH ₃ S-	0	-CH ₂ S-	63,8	>CHS-	0
I-	0	Br-	44,2	-CH ₂ Cl	37,6
>CHCl	37,8	C(F) ₃	-6,2	-CHCl ₂	0
-CCl ₃	105,8	ACCl	40,7	ACF	-15,7
	7,6		0		0
>CHNO ₂	0	AC-NO ₂	96,5	-CH ₂ NO ₂	81,5
C(F) ₂	0	C ₄ H ₃ S	0	-CH ₂ CN	69,7
CH ₂ =C=C<	0	-CH=C=CH-	0	(F)	0
(O)	6,7	(Cl)	47,6	>CHCO-	0
>C=N-	0	-CH=N-	38,8	(NH ₂)	0
-N=N-	0	(C≡N)	60,1	(NH)	0
O=C=N-	42,3	>CHSH	45,9	(NO ₂)	0
(SH)	0	(S)	17,8	-SO ₂ -	190,7

Окончание табл. 7

Группа	Значение	Группа	Значение	Группа	Значение
>C=S-	0	O=P<	0	>P-	2,7
>C=O*	0	-NHCO-	0	-N=O	0
(N)	0				

Примечание. AC — бензольный цикл; C₅H₄N, C₅H₃N — моно- и дизамещенный пиридин соответственно; C(F)₂, C(F)₃ — фрагменты соединения с двумя и тремя атомами F; C₄H₃S — монозамещенный тиюфен; (F), (Cl), (O), (NH₂), (NH), (C≡N), (NO₂), (SH), (S) и (N) — другие фтор-, хлор-, кислород-, амино-, NH-, циано-, нитро-, меркапто-, серо- и азотсодержащие соединения, за исключением ранее упомянутых в табл. 7.

* За исключением вышеупомянутых.

S — квадрат отношения общего количества атомов углерода к числу атомов углерода в самой длинной цепи молекулы;

A_i — поправочный коэффициент (табл. 6).

Модель Константина-Гани (Constantinou and Gani) используется для определения ТВ органических соединений. Необходимо отметить, что формула (22) работает также в приближении к первому порядку, т. е. когда $\sum_j m_j S_j = 0$ [36]:

$$T_{\text{всп}} = \sum_i n_i F_i + \sum_j m_j S_j, \quad (22)$$

где F_i — структурный коэффициент i -го типа первого порядка (табл. 7), который присутствует n_i раз в молекуле ГВ;

S_j — структурный коэффициент j -го типа второго порядка, который присутствует m_j раз в молекуле ГВ.

Коэффициент β в реакции горения перед кислородом и стехиометрическая концентрация ГВ $C_{\text{стх}}$ также могут выступать в качестве дескрипторов для прогнозирования ТВ кетонов, карбоновых кислот, альдегидов, простых эфиров, галогеналканов, тиоэфиров, моно- и диалкиламинов (табл. 8) [11, 13, 16, 17, 19].

Таблица 8. Уравнения для определения ТВ через β и C_{CTX}

Класс соединений	Уравнение
Кетоны	$t_{\text{всп}} = 9,1533\beta - 54,12$; $t_{\text{всп}} = -3,2545C_{\text{CTX}}^3 + 40,16C_{\text{CTX}}^2 - 174,48C_{\text{CTX}} + 255,9$
Простые эфиры	$T_{\text{всп}} = 149,6 + 15,652\beta - 0,244\beta^2$; $T_{\text{всп}} = 81,6 + 62,943\beta^{0,5}$; $T_{\text{всп}} = 368,24C_{\text{CTX}}^{-0,3704}$ при $4 \leq N_C \leq 16$
Карбоновые кислоты	$T_{\text{всп}} = 286,4 + 13,112\beta - 0,253\beta^2$ при $2 \leq N_C \leq 12$; $T_{\text{всп}} = -0,04\beta^2 + 4,70\beta + 340,0$ при $13 \leq N_C \leq 26$
Альдегиды	$T_{\text{всп}} = 199,2 + 12,569\beta - 0,139\beta^2$ при $1 \leq N_C \leq 13$; $T_{\text{всп}} = \frac{1038,75 + 602C_{\text{CTX}}}{1 + 3,078C_{\text{CTX}}}$ при $1 \leq N_C \leq 13$
Хлоралканы	$T_{\text{всп}} = 189 + 7,72\beta^{1,5} - 0,632\beta^{2,5} + 0,08\beta^3$ при $1 \leq N_C \leq 18$; $T_{\text{всп}} = 198,5 + \frac{64,99}{C_{\text{CTX}}} + \frac{774,8}{C_{\text{CTX}}^2} - \frac{1093,01}{C_{\text{CTX}}^3} + \frac{443,29}{C_{\text{CTX}}^4}$ при $2 \leq N_C \leq 18$
Бромалканы	$T_{\text{всп}} = -0,253\beta^2 + 14,5\beta + 211,4$ при $1 \leq N_C \leq 18$; $T_{\text{всп}} = 200 + \frac{364,7}{C_{\text{CTX}}} - \frac{215,4}{C_{\text{CTX}}^2} + \frac{51,4}{C_{\text{CTX}}^3}$ при $1 \leq N_C \leq 18$
Иодалканы	$T_{\text{всп}} = 211,17 - 23,6\beta + 0,007\beta^3 + 66,4(\ln \beta)^2 + (390,77 \ln \beta)/\beta^2$; $T_{\text{всп}} = 27,3C_{\text{CTX}} - 0,049C_{\text{CTX}}^3 + \frac{993,8 \ln C_{\text{CTX}}}{C_{\text{CTX}}} + \frac{565,24}{C_{\text{CTX}}^2} - 194,3$ при $1 \leq N_C \leq 12$
Фторалканы	$T_{\text{всп}} = 158 + 17,51\beta^{0,5} \ln \beta$; $T_{\text{всп}} = 154,24 + 262,16/C_{\text{CTX}}$ при $1 \leq N_C \leq 12$
Алкилмеркаптаны ¹⁾	$T_{\text{всп}} = 347,9 + 0,6\beta^2 - 0,08\beta^{2,5} - (347,3 \ln \beta)/\beta$ при $1 \leq N_C \leq 12$; $T_{\text{всп}} = 414,1 - 52,4C_{\text{CTX}} + 65,6C_{\text{CTX}}^{0,5} - \frac{1,14}{\ln C_{\text{CTX}}} - \frac{271,3 \ln C_{\text{CTX}}}{C_{\text{CTX}}}$ при $2 \leq N_C \leq 12$
Тиоэфиры ¹⁾	$T_{\text{всп}} = 82,39 + 68,99\sqrt{\beta}$ при $2 \leq N_C \leq 16$
Моноалкиламины ¹⁾	$T_{\text{всп}} = (14,17 + 0,6(\ln \beta)^2)^2$; $T_{\text{всп}} = \sqrt{3110,58 + 123431,11/C_{\text{CTX}}}$ при $1 \leq N_C \leq 18$
Диалкиламины ¹⁾	$T_{\text{всп}} = -0,017\beta^3 + 0,543\beta^2 + 5,1\beta + 196,65$ при $1 \leq N_C \leq 16$; $T_{\text{всп}} = \sqrt{(48638,54 + 261556,87 \cdot 2,7^{-C_{\text{CTX}}})}$ при $2 \leq N_C \leq 16$

¹⁾ Данные авторов.

Исходя из уравнений Лесли–Джениз (Leslie–Geniesse relation), Клапейрона–Клаузиуса (Clausius–Clapeyron), правила Трoutона (Trouton) и представления температуры кипения как функции структурных дескрипторов, выведена формула (23) для расчета ТВ многих классов органических соединений [8, 37]:

$$T_{\text{всп}} = \frac{\sum_i (n_i g_i) + \delta}{\lambda \ln(8\beta) + 1} + \varepsilon, \quad (23)$$

где n_i — количество i -х структурных групп;
 g_i — структурный дескриптор i -й структурной группы (табл. 9);
 δ , λ , ε — константы; для спиртов $\delta = -208,30$, $\lambda = 2,40$, $\varepsilon = 196,68$; для других органических соединений $\delta = -510,49$, $\lambda = 2,13$, $\varepsilon = 235,21$.

С помощью метода SGC (Structural Group Contribution) предложено полиномиальное уравнение 4-й степени для прогноза ТВ углеводородов [38]:

$$T_{\text{всп}} = 84,65 + 64,18 \sum_{i=1} \Phi_i - 5,6345 \left(\sum_{i=1} \Phi_i \right)^2 + 0,360 \left(\sum_{i=1} \Phi_i \right)^3 - 0,0101 \left(\sum_{i=1} \Phi_i \right)^4, \quad (24)$$

где Φ_i — структурный дескриптор (табл. 10).

В 2005 г. для формулы (24) были предложены альтернативные значения дескрипторов [39] (табл. 11).

Для циклических и ациклических алканов найдена формула (25), связывающая ТВ с количеством атомов углерода n_C и дескрипторами ISP и DSP [40]:

$$T_{\text{всп}} = A + 16,15N_C + 16,68ISP - 24,71DSP, \quad (25)$$

где A — константа; $A = 146,6$ (ациклические алканы), $A = 154,9$ (циклоалканы);

ISP — дескриптор, определяющий конфигурационные параметры, учитывается только для циклоалканов с $N_C \geq 7$, и в этом случае $ISP = 1$;

Таблица 9. Значения дескрипторов в уравнении (23)

Группа	g_i	Группа	g_i	Группа	g_i
$\equiv C-$ (HC)	256,43	$\equiv CH$ (HC)	-61,94	$\equiv C<$ (HC)	483,40
$=C_R<$ (HC)	378,53	$=CH-$ (HC)	219,78	$=C_RH-$ (HC)	124,16
$=CH_2$ (HC)	-99,53	$>C<$ (HC)	561,32	$>C_R<$ (HC)	98,67
$>CH-$ (HC)	418,55	$>C_RH-$ (HC)	313,87	$>CH_2$ (HC)	191,61
$-C_RH_2-$ (HC)	122,22	$-CH_3$ (HC)	-59,62	$>CH-$	119,79
$>C_RH-$	201,98	$>CH_2$	162,43	$-C_RH_2-$	149,72
$-CH_3$	77,80	$=C<$	194,11	$=C_R<$	236,45
$=C=$	-239,01	$=CH-$	148,59	$=C_RH-$	163,28
$=CH_2$	37,56	$C_R-C_R=$	-59,24	$>C<$	108,68
$>C_R<$	130,20	$>C=O$	494,20	$>C_R=O$	551,77
$O=CH-$	437,19	$O=C_RO_R$	1192,63	$-COO-$	529,37
$-COOH$	1034,70	$O=C_RO_R C_R=O$	1750,35	$=O$	623,68
$-O-$	176,69	$-O_R-$	128,89	$-OH$ (спирты)	803,82
$-OH$ (фенолы)	806,21	$>N-$	153,69	$>NH$	354,79
$>N_RH$	325,82	$-NH_2$	362,58	$-N=$	196,10
$-N_R=$	243,93	$-N_R<$	369,80	$-N-C_a$	797,35
$-C\equiv N$	640,67	$N-C=O$ (амиды)	1193,67	$O=C=N-C_a$	697,80
$-C-NO_2$ (алифатический)	898,17	$-NO_2$	525,91	$-S-$	405,65
$-S_R-$	221,89	$-SH$	469,16	$-Br$	386,51
$-Cl$	251,85	$-F$	-55,41	$-I$	622,38
$-Si-$	89,55	$-O-$ (Si)	96,01		

Примечания: 1. Пометки в скобках (HC) и (Si) указывают на связь соответственно с углеводородным радикалом и атомом кремния. 2. Индекс "R" означает, что атом циклический. 3. C_a — ароматический атом углерода.

DSP — дескриптор, учитывающий заместители в циклоалканах; для циклопропанов и циклобутанов без заместителей или с метильными радикалами $DSP = 1$; для циклопентанов и циклогексанов с алкильным заместителем и $N_C \geq 10$ $DSP = (N_C - 9) \cdot 0,3$; для ациклических углеводородов с третбутильным фрагментом ($t-Bu-R$) и $n_C \geq 3$ в заместителе R $DSP = 0,3$; для ациклических алканов до бутана включительно $DSP = 4,25 - N_C$; во всех остальных случаях $ISP = DSP = 0$.

Модель BMLR (Best Multi Linear Regression) реализована для серии 68 алифатических и ароматических аминов. С помощью программы Codessa определены 165 дескрипторов для AM1-оптимизированных химических структур аминов. В результате обработки полученных данных получено уравнение (26) [41]:

$$t_{всп} = 337,96 - 735,48N_H + 4715,5(HDCA2) + 0,46(PPSA1), \quad (26)$$

где N_H — число атомов водорода;

$HDCA2$ — дескриптор водородной связи;

$PPSA1$ — частично положительная площадь поверхности.

Аналогичным путем на основе 350 дескрипторов и применения BMLR-подхода для прогнозирования ТВ органических пероксидов найдена зависимость (27) [41]:

$$t_{всп} = -6127,1 - 3,46N_H + 2,51(WNSA2) + 5300,2(FPSA3) - 3,55(PNSA3) + 1534,7V_{avg,C}, \quad (27)$$

где $WNSA2$ — площадь поверхности отрицательного заряда;

$FPSA3$, $PNSA3$ — площадь поверхности соответственно частичного положительного и отрицательного атомного заряда;

$V_{avg,C}$ — средняя валентность атома углерода.

Простое уравнение (28) предложено для расчета ТВ на основе структурных дескрипторов:

$$T_{всп} = \sum (n_i f_i)^a, \quad (28)$$

где n_i — количество i -х структурных фрагментов;

f_i — структурный дескриптор i -й группы (табл. 12);

a — коэффициент, $a = 0,3 \div 0,5$; для алканов и кремнийорганических соединений $a = 0,5$ [42].

Для обозначения атомных фрагментов использовано общее обозначение Xn_c-n_h , где X — неводо-

Таблица 10. Значения структурного дескриптора Φ_i в уравнении (24)

Класс соединений	Группа	Φ_i	Группа	Φ_i
Алканы	$-\text{CH}_3$	0,4832	$>\text{CH}_2$	0,5603
	α - $>\text{CH}-$	0,5275	β - $>\text{CH}-$	0,5499
	γ - $>\text{CH}-$	0,4778	δ - $>\text{CH}-$	0,4543
	α - $>\text{C}<$	0,4008	β - $>\text{C}<$	0,5281
	$-\text{C}_2\text{H}_5$ (боковая цепь)	1,0370		
Алкены, алкины, диены	$=\text{CH}_2$	0,4078	$=\text{CH}-$	0,6037
	$=\text{CH}-$ (цис)	0,5913	$=\text{CH}-$ (транс)	0,6216
	α - $>\text{C}=\text{C}$	0,7135	β - $>\text{C}=\text{C}$	0,6550
	$=\text{C}=\text{C}$	0,8659	$\equiv\text{CH}$	0,4475
	$\equiv\text{C}-$	0,8387		
Цикло- алканы, цикло- алкены	$>\text{CH}_2$	0,6080	$>\text{CH}-$	0,4217
	α - $>\text{CH}-$ (цис)	0,7148	α - $>\text{CH}-$ (транс)	0,6986
	β - $>\text{CH}-$ (цис)	0,6518	β - $>\text{CH}-$ (транс)	0,4601
	γ - $>\text{CH}-$ (цис)	0,7167	γ - $>\text{CH}-$ (транс)	0,5899
	$>\text{C}<$	0,1847	$=\text{CH}-$	0,5287
Ароматические соединения	$=\text{CH}-$	0,6205	$>\text{CH}_2$	1,5159
	$>\text{C}=\text{C}$ (конденсированный атом)	0,8898	$>\text{C}=\text{C}$	0,6150
	$>\text{C}=\text{C}$ (орто)	0,7535	$>\text{C}=\text{C}$ (мета)	0,7384
	$>\text{C}=\text{C}$ (пара)	0,7675		

родный атом (углерод, азот, кислород, фтор, хлор, бром, иод, кремний, бор); n_c — число связей у сопряженного с атомом X атома углерода без учета связей с атомом X ; n_h — число атомов водорода у атома X . Например, терминальная амидная группа ($-\text{CONH}_2$) описывается тремя дескрипторами: C3-0, O1-0 и N3-2. Дополнительно введены поправки на цикл R_i , R_{ia} (индекс a указывает на ароматический цикл) [42, 43].

Модель SVR (Support Vector Regression) с технологией оптимизации PSO (Particle Swarm Optimization) в программном комплексе MatLAB реализована для предсказания температуры вспышки 792 органических соединений с использованием 65 структурных дескрипторов [44, 45]. В работах [44, 45] упущено описание способа нахождения дескрипторов, отмечено только, что для их расчета использовано нелинейное уравнение

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, x_i) + b, \quad (29)$$

где $K(x, x_i)$ — радикальная базисная функция;

$$K(x, x_i) = \exp(-\gamma |x - x_i|).$$

Таблица 11. Альтернативные значения Φ_i в уравнении (24)

Группа	Алканы	Алкены	Цикло- алканы	Ароматические соединения
$-\text{COOH}$	4,9080	—	—	—
$-\text{COO}-$	2,2084	—	—	—
$>\text{C}=\text{O}$	2,1680	—	2,5063	—
$-\text{OH}$	2,8124	—	—	—
$-\text{O}-$	0,7968	—	1,2255	—
$-\text{C}\equiv\text{N}$ (при наличии других групп)	2,9730	—	—	—
$-\text{NH}_2$	1,6810	—	—	2,7258
$>\text{NH}$	1,3944	—	1,7017	—
$>\text{N}-$	0,0397	—	0,1914	—
$=\text{N}-$	—	—	—	1,4946
$-\text{NO}_2$	3,7873	—	—	—
$-\text{N}=\text{C}=\text{O}$	2,4673	—	—	—
$-\text{SH}$	1,8679	—	—	—
$-\text{S}-$	1,7683	—	2,1806	—
$=\text{S}$	—	1,1682	—	—
$>\text{S}=\text{O}$	19,2244	—	—	—
$-\text{SO}_2-$	4,4017	—	—	—
$>\text{Si}<$	-0,3226	—	—	—
$-\text{F}$	0,0433	—	—	—
$-\text{Cl}$	1,4731	—	—	—
$-\text{Br}$	2,4598	—	—	—
$-\text{I}$	2,9295	—	—	—
$-\text{CHO}$	2,2456	—	—	—
$-\text{N}=\text{O}$	1,2313	—	—	—
$\text{HCOO}-$	2,4352	—	—	—
$>\text{N}<$	—	—	11,0596	—
$-\text{C}\equiv\text{N}$	1,2033	—	—	—
$>\text{N}-\text{NH}_2$	2,6091	—	—	—
$(\text{N})>\text{C}=\text{O}$	4,3463	—	—	—
$>\text{C}=\text{O}$ (дополнительная группа)	1,8146	—	—	—
$(\text{O})>\text{Si}<$	0,1590	—	—	—

Для органических соединений на основе линейно-регрессионного анализа с помощью программных комплексов EMMA и NASAWIN в сочетании с дескрипторным блоком FRAGMENT определены структурные дескрипторы и предложена формула (30). При этом отмечено, что расширение набора дескрипторов до 25 дает качество линейно-регрессионной модели, сопоставимое с качеством нейросетевой [46, 47]:

$$t_{\text{всп}} = a + \sum_{i=1}^m (n_i b_i f_i), \quad (30)$$

где a — константа;

Таблица 12. Значения f_i в уравнении (28)

Группа	f_i	Группа	f_i	Группа	f_i	Группа	f_i
C2-0	5095,8	C2-1	34899,7	C3-0	9179,7	C3-1	10473,6
C3-2	11380,7	N1-0	32605,9	N2-0	8697,9	N3-0	3925,1
N3-1	9193,0	N3-2	26436,5	O1-0	12376,1	O2-0	5153,6
O2-1	42113,9	F1-0	2745,3	Cl1-0	20155,2	Br1-0	42683,5
I1-0	48149,5	S1-0	46371,9	S2-0	19729,0	Si4-0	3730,1
Si4-1	11252,1	Si4-2	15097,2	Si4-3	25658,2	B ₂	–8600,2
B ₃	–19539,1	R ₃	38567,8	R ₄	17226,9	R ₅	8890,3
R _{5a}	18108,2	R ₆	9699,1	R _{6a}	2533,6	R _{>6}	17096,1

b_i — константа для i -го структурного дескриптора;

fr_i — структурный дескриптор.

Для 30 алканов и 14 циклопропанов рассчитана температура вспышки с помощью нейронной сетевой программы STATISTICA Neural Networks. В расчетах использована функция (31) и 16 структурных дескрипторов (относительная ошибка не превысила 4,3 %) [48]:

$$F(x) = [1 + \exp(-x)]^{-1}. \quad (31)$$

Иранские исследователи на основании анализа 1378 органических соединений из базы данных DIPPR 801 выделили 79 структурных элементов ГВ и провели прогнозирование ТВ на основе трехслойных нейросетей с применением программного пакета MatLAB [49].

Прогнозирование температуры вспышки через топологические и квантово-химические характеристики

На основании обработки данных справочной базы DIPPR 801 в модели PSO-SVR предложена формула (32) для определения ТВ органических соединений [50]:

$$T_{\text{всп}} = 22,26Hnar^2 - 400,00n_F + 9,16RTm_+ + 33,22nHDon^{2/3} + 128,47Ss^{1/3} - 80,67, \quad (32)$$

где $Hnar$ — гармонический топологический индекс Наруми;

n_F — число атомов фтора;

RTm_+ — максимальный индекс, отнесенный к весу атомных масс;

$nHDon$ — число атомов доноров для водородной связи;

Ss — сумма Киер-Холла электротопологических состояний.

В результате исследования с помощью QSPR (Quantitative Structure-Property Relationship) температуры вспышки моноалкенов выведено уравнение (33), в котором ТВ представлена как функция молекулярных дескрипторов $XV1SR$ (квадратный корень

индекса валентности первого порядка) и XVT (температурный индекс), которые получены с помощью программного пакета SAS [51]:

$$T_{\text{всп}} = -113,57 + 208,28XV1SR + 21291XVT. \quad (33)$$

Модель GA-MLR (Genetic Algorithm–Multiple Linear Regressions) использована с целью нахождения формулы (34) для расчета ТВ алканов в температурном интервале от 169 до 517 K [52]:

$$T_{\text{всп}} = 367,069 + 6,300(SCBO) - 397,659(Vep2) + 1,616(C-002), \quad (34)$$

где $SCBO$ — дескриптор, равный сумме порядков связи (количество связей к каждому атому без учета связей с водородом);

$Vep2$ — индекс, связанный с геометрией и размерами молекулы;

$C-002$ — параметр, равный числу метиленовых групп в молекуле.

При обработке экспериментальных данных по температуре вспышки⁴ 126 пиридинов получено уравнение

$$T_{\text{всп}} = 36,8 + 2,3X_{442} + 1409,1X_{237} + 84,0X_{221} + 55,3X_{82} + 101,3X_{357} - 21,9X_{178}. \quad (35)$$

Авторами [53] не приведена расшифровка дескрипторов в формуле (35), отмечено только, что они получены с помощью программы CODESSA.

В результате оптимизации химической структуры 207 кремнийорганических соединений с помощью программного комплекса HyperChem и расчета дескрипторов в программе Dragon для прогнозирования их ТВ предложена следующая линейная зависимость [54]:

$$T_{\text{всп}} = -195,463 - 16,521N_F + 59,405RDCHI + 349,826MANS1m + 2,079Mor02p + 10,433RTv, \quad (36)$$

где N_F — число атомов фтора;

⁴ При нахождении формулы (35) использовались данные по ТВ пиридинов, полученные как в закрытом, так и открытым тиглях [53].

RDCHI — индекс связей, который описывает размер и форму молекул;

MATS1m — дескриптор 2D-автокорреляции;

Mor02p — параметр 3D-*MorSE*, связанный с атомной поляризуемостью молекулы;

RTv — дескриптор GETAWAY, характеризующий атомные ван-дер-ваальсовы объемы молекулы.

С применением модели PSO-MLR (Particle Swarm Optimization–Multivariate Linear Regression) для серосодержащих соединений (меркаптаны, сульфиды, тиофены и полифункциональные соединения с общей брутто-формулой $C_xH_yO_vS_w$) в программном комплексе MatLAB получена формула

$$T_{\text{всп}} = 82,08(Ss)^2 - 26,90Jhetv + 499,86(HATS1m)^2 + 83,52, \quad (37)$$

где *Jhetv* — индекс Балабана (Balaban index);

HATS1m — индекс 3D-автокорреляции, характеризующий отношение леверидж-усиленной автокорреляции первой степени к весу атомных масс.

Все дескрипторы рассчитаны с помощью программы Dragon [55].

Переход от PSO-MLR к нейронной модели ANN позволяет повысить коэффициент корреляции с 0,918 до 0,946 [55].

Для кремнийорганических соединений предложены 6- и 13-дескрипторные QSPR-уравнения (38) и (39) на основе модели MLR (Multiple Linear Regression), молекулярные дескрипторы в которых также вычислены в программе Dragon [56]:

$$T_{\text{всп}} = 239,9566 - 3,6747(N_{\text{Cl}}) - 17,6729(n_{\text{HM}}) + 14,2319(Xu) + 0,8718(SPI) + 2,0345(MPC02) - 50,8682(X0) + 10,3444(X1) + 8,1776(X3) + 1,7189(X2v) + 28,6903(X0sol) + 43,2846(R5m^+) + 3,887(9H-051) + 9,6851(F02[C-F]); \quad (38)$$

$$T_{\text{всп}} = 241,5076 + 12,8651(N_{\text{Cl}}) + 20,3763(Xu) - 23,5925(X0) + 14,1528(X3) + 1,6728(X2v) + 5,9339(9H-051), \quad (39)$$

где N_{Cl} — число атомов Cl;

n_{HM} — число тяжелых атомов;

Xu — хи-индекс;

SPI — топологический индекс;

X0, *X1* и *X3* — индексы связи хи-0, хи-1 и хи-3;

MPC02 — индекс Gordon–Scantlebury;

X2v — индекс валентной связи хи-2;

X0sol — индекс связи сольватации;

R5m⁺ — максимальная *R*-автокорреляция лага 5, отнесенная к весу атомных масс;

9H-051 — число атомов Н у α-углеродного атома;

F02[C–F] — частота C–F-связи на топологической дистанции 2.

В программе Dragon рассчитано более 1000 дескрипторов для 151 спирта, геометрия которых была

оптимизирована с помощью методов MM+ и PM3. С применением подхода GFA-MARS (Genetic Function Approximation–Multivariate Adaptive Regression Splines) для прогнозирования ТВ спиртов предложена формула (40)⁵ [57]:

$$T_{\text{всп}} = 142,434(IVDM) + 74,317(G2e) - 131,058(nRNH2) + 102,298(Hy) - 256,945, \quad (40)$$

где *IVDM* — информационный индекс;

G2e — WHIM-дескриптор 2-й степени симметрии;

nRNH2 — число первичных аминогрупп;

Hy — гидрофильный фактор.

Для расчета ТВ альдегидов, сложных эфиров и ряда фармацевтических препаратов предложена формула (41) [58–63]:

$$t_{\text{всп}} = a + \sum_{i=1}^5 b_i x_i, \quad (41)$$

где x_1 и x_2 — гравитационные дескрипторы, учитывающие все связанные пары и все пары соответственно;

x_3 и x_4 — индексы Винера и Рандича соответственно;

x_5 — площадь поверхности молекулы.

Модели GFA (Genetic Function Approximation) и ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) апробированы для определения температуры вспышки 95 сложных эфиров. Вычисления выполнены с помощью программы Materials Studio Software. При расчетах использованы пять молекулярных дескрипторов (*D/Dr05*, *IVDM*, *IC0*, *MATS5p*, *G2s*), полученных с применением программы Dragon [64]:

$$T_{\text{всп}} = 14,8235(D/Dr05) + 206,42085(IVDM) + 267,7560(IC0) - 34,3579(MATS5p) + 94,5397(G2s) - 885,2351. \quad (42)$$

Дескрипторы WHIN (Weighted Holistic Invariant Molecular) (*Sv*, *Se*, *Du*, *Vu*) и *Tis* (Topological Indices) ($^3\chi^b$, $^1\chi^v$), рассчитанные в программных пакетах WHIN-3D/QSAR и POLY, использованы для прогнозирования ТВ галогенбензолов и галогентолуолов [65].

Модели PLS (Projection to Latent Structures) и PCA (Principal Component Analysis) для алифатических, циклических и ароматических аминов апробированы для расчета ТВ с помощью программы SIMCA-P 8.0. Дескрипторы для этих моделей найдены с помощью программного комплекса Tsar [66].

Применение молекулярных дескрипторов для вычисления ТВ органических веществ в настоящее время привлекает внимание многих исследователей. Наряду с вышеперечисленными, используются GTMC

⁵ Коэффициенты уравнения (40) в работе [57] приведены с точностью до 8-го знака после запятой. Такая точность является избыточной, поэтому их значения округлены до тысячных.

(Graphtheoretical Molecular Connectivity), GCM-ANN-PSO (Group Contribution Method–Artificial Neural Network–Particle Swarm Optimization), SVM (Support Vector Machines) и другие модели для прогноза ТВ [67–81]. В качестве недостатка применения молекулярных дескрипторов следует указать необходимость применения специального программного обеспечения, что резко снижает круг потенциальных пользователей этого способа прогнозирования температуры вспышки.

В заключение отметим, что наряду с дескрипторным способом расчета ТВ существуют сравнительный метод [82, 83] и подход, основанный на правиле углеродной цепи [11–14, 16–19, 84–86].

Авторы очень признательны Председателю Редакционного совета журнала “Пожаровзрывобезопасность” д-ру техн. наук, профессору, академику МАНЭБ А. Я. Корольченко за поддержку данного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть II. Расчет через давление насыщенного пара // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 21–35.
2. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть III. Расчет через температуру кипения // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 3. — С. 30–43.
3. Бوريدко В. С. Программный комплекс для прогнозирования свойств сложных органических соединений на основе анализа неоднозначных зависимостей “структура – свойство”: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2000. — С. 8–9.
4. Монахов В. Т. Показатели пожарной опасности веществ. — М.: Химия, 1972. — 152 с.
5. Монахов В. Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и жидкости. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2007. — 102 с.
6. Монахов В. Классификация легковоспламеняющихся жидкостей // Пожарное дело. — 1967. — № 2. — С. 25–26.
7. Евланов С. Ф. Температура вспышки в закрытом тигле и нижний температурный предел воспламенения жидкостей // Безопасность труда в промышленности. — 1991. — № 8. — С. 40. Цит. по [8].
8. Rowley J. Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — 261 p.
9. Shimy A. A. Calculating flammability characteristics of hydrocarbons and alcohols // Fire Technology. — 1970. — Vol. 6, No. 2. — P. 135–139. doi: 10.1007/BF02588900.
10. Vazhev V. V., Aldabergenov M. K., Vazheva N. V. Estimation of flash points and molecular masses of alkanes from their IR spectra // Petroleum Chemistry. — 2006. — Vol. 46, No. 2. — P. 136–139. (Нефтехимия. — 2006. — Т. 46, № 2. — С. 153–156). doi: 10.1134/S0965544106020125.
11. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 13–21.
12. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
13. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
14. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
15. Агафонов И. А., Гаркушин И. К., Люстрицкая Д. В., Снопов С. Г. Анализ и прогнозирование пожароопасных свойств индивидуальных н-алканов // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 16–19.
16. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
17. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.
18. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.

19. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 13–21.
20. Keshavarz M. H., Ghanbarzadeh M. Simple method for reliable predicting flash points of unsaturated hydrocarbons // Journal of Hazardous Materials. — 2011. — Vol. 193. — P. 335–341. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.07.044.
21. Keshavarz M. H. Estimation of flash points of saturated and unsaturated hydrocarbons // Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. — 2012. — Vol. 19. — P. 269–278.
22. Xu W. Estimation of three group parameters for correlating basic physical properties of organic compounds // Journal of Chemical Industry and Engineering (China) / Hua Gong Xue Bao. — 1992. — Vol. 43, No. 2. — P. 222–229.
23. Wang K., Du Z., Wang J. A new method for predicting the flash points of organic compounds from the information of molecular component // Bulletin of Science and Technology (China). — 2002. — Vol. 18, No. 3. — P. 235–239. Цит. по [87].
24. Петров А. В., Батов Д. В., Мочалова Т. А. Применение аддитивно-группового метода для расчета характеристик горения кетонов // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2008. — № 1. — С. 46–49.
25. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Описание и прогнозирование температуры вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно-группового метода // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 15–18.
26. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Использование аддитивно-группового метода для расчета температуры вспышки спиртов, кетонов и сложных эфиров // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2010. — № 1 (9). URL : <http://www.edu-fire37.ru/contact/vestnik/> (дата обращения: 21.04.2013 г.).
27. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Additive group techniques for calculating the flash point of alcohols, ketones and esters // Russian Journal of Applied Chemistry. — 2011. — Vol. 84, No. 1. — P. 54–59 (Журнал прикладной химии. — 2011. — Т. 84, № 1. — С. 55–60). doi: 10.1134/S1070427211010095.
28. Батов Д. В. Термохимия растворов органических неэлектролитов в смешанных растворителях : дис. ... д-ра хим. наук. — Иваново, 2002. — 317 с.
29. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Simple method to evaluate and to predict flash points of organic compounds // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2011. — Vol. 50, No. 8. — P. 4796–4800. doi: 10.1021/ie1021283.
30. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Calculating flash point numbers from molecular structure: an improved method for predicting the flash points of acyclic alkanes // Energy Fuels. — 2010. — Vol. 24, No. 1. — P. 392–394. doi: 10.1021/ef900883u.
31. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Improved prediction of hydrocarbon flash points from boiling point data // Energy Fuels. — 2010. — Vol. 24, No. 9. — P. 4854–4856. doi: 10.1021/ef1005836.
32. Godinho J. M., Carroll F. A., Quina F. H. A simple method to evaluate, correlate and predict boiling and flash points of alkynes // Journal of the Brazilian Chemical Society. — 2012. — Vol. 23, No. 10. — P. 1895–1899. doi: 10.1590/S0103-50532012005000064.
33. Godinho J. M., Lin C.-Y., Carroll F. A., Quina F. H. Group contribution method to predict boiling points and flash points of alkylbenzenes // Energy Fuels. — 2011. — Vol. 25, No. 11. — P. 4972–4976. doi: 10.1021/ef201121b.
34. Carroll F. A., Gordino J. M., Quina F. H. Development of a simple method to predict boiling points and flash points of acyclic alkenes // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2011. — Vol. 50, No. 24. — P. 14221–14225. doi: 10.1021/ie201241e.
35. Palatinus J. A., Sams C. M., Beeston C. M., Carroll F. A., Argenton A. B., Quina F. H. Kinney revisited: an improved group contribution method for the prediction of boiling points of acyclic alkanes // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2006. — Vol. 45, No. 20. — P. 6860–6863. doi: 10.1021/ie0604425.
36. Stefanis E., Constantinou L., Panayiotou C. A group-contribution method for predicting pure component properties of biochemical and safety interest // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2004. — Vol. 43, No. 19. — P. 6253–6261. doi: 10.1021/ie0497184.
37. Rowley J. R., Rowley R. L., Wilding W. V. Estimation of the flash point of pure organic chemicals from structural contributions // Process Safety Progress. — 2010. — Vol. 29, No. 4. — P. 353–358. doi: 10.1002/prs.10401.
38. Albahri T. A. Flammability characteristics of pure hydrocarbons // Chemical Engineering Science. — 2003. — Vol. 58, No. 16. — P. 3629–3641. doi: 10.1016/S0009-2509(03)00251-3.

39. Wu Y.-S. Predictive model of flash point for pure organic substances: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of sciences. — National Central University (China), 2005. — 36 p.
40. Keshavarz M. H., Motamedoshariati H., Ghanbarzadeh M. A reliable simple method for prediction of the flash points of saturated hydrocarbons in order to improve their safety // *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*. — 2011. — Vol. 20, No. 6. — P. 58–75.
41. Fayet G., Rotricia P., Prana V., Adamo C. Prediction of physico-chemical properties for reach based on QSPR models // *Chemical Engineering Transactions*. — 2013. — Vol. 31. — P. 925–930. doi: 10.3303/CET1331155.
42. Mathieu D. Flash points of organosilicon compounds: how data for alkanes combined with custom additive fragments can expedite the development of predictive models // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. — 2012. — Vol. 51, No. 43. — P. 14309–14315. doi: 10.1021/ie301800s.
43. Mathieu D. Inductive modeling of physico-chemical properties: flash point of alkanes // *Journal of Hazardous Materials*. — 2010. — Vol. 179, No. 1–3. — P. 1161–1164. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.03.081.
44. Lee C. J., Ko J. W., Lee G. Flash point prediction of organic compounds using a group contribution and support vector machine // *Korean Journal of Chemical Engineering*. — 2012. — Vol. 29, No. 2. — P. 145–153. doi: 10.1007/s11814-011-0164-8.
45. Lee C. J., Lee G., So W., Yoon E. S. A new estimation algorithm of physical properties based on a group contribution and support vector machine // *Korean Journal of Chemical Engineering*. — 2008. — Vol. 25, No. 3. — P. 568–574. doi: 10.1007/s11814-008-0096-0.
46. Баскин И. И. Моделирование свойств химических соединений с использованием искусственных нейронных сетей и фрагментных дескрипторов : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М., 2009. — С. 176–180.
47. Zhokhova N. I., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov A. N., Zefirov N. S. Fragmental descriptors in QSPR: flash point calculations // *Russian Chemical Bulletin*. — 2003. — Vol. 52, No. 9. — P. 1885–1892. (Известия АН, серия хим. — 2003. — № 9. — С. 1787–1793). doi: 10.1023/B:RUCB.0000009629.38661.4c.
48. Pan Y., Jiang J., Wang Z. Prediction of the flash points of alkanes by group bond contribution method using artificial neural networks // *Frontiers of Chemical Engineering in China*. — 2007. — Vol. 1, No. 4. — P. 390–394. doi: 10.1007/s11705-007-0071-z.
49. Gharagheizi F., Alamdari R. F., Angaji M. T. A new neural network-group contribution method for estimation of flash point temperature of pure components // *Energy and Fuels*. — 2008. — Vol. 22, No. 3. — P. 1628–1635. doi: 10.1021/ef700753t.
50. Bagheri M., Bagheri M., Heidari F., Fazeli A. Nonlinear molecular based modeling of the flash point for application in inherently safer design // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. — 2012. — Vol. 25, No. 1. — P. 40–51. doi: 10.1016/j.jlp.2011.06.025.
51. Nelson S. D., Seybold P. G. Molecular structure-property relationships for alkenes // *Journal of Molecular Graphics and Modeling*. — 2001. — Vol. 20, No. 1. — P. 36–53. doi: 10.1016/S1093-3263(01)00099-7.
52. Pan Y., Jiang J., Ding X., Wang R., Jiang J. Prediction of flammability characteristics of pure hydrocarbons from molecular structures // *AIChE Journal*. — 2010. — Vol. 56, No. 3. — P. 690–701. doi: 10.1002/aic.12007.
53. Murugan R., Grendze M. P., Toomey J. E., Katritzky A. R., Karelson M., Lobanov V., Rachwal P. Predicting physical-properties from molecular structure // *Chemtech*. — 1994. — Vol. 24, No. 6. — P. 17–23. doi: 10.1002/chin.199444268.
54. Pan Y., Jiang J., Wang R., Zhu X., Zhang Y. A novel method for predicting the flash points of organosilicon compounds from molecular structures // *Fire and Materials*. — 2013. — Vol. 37, No. 2. — P. 130–139. doi: 10.1002/fam.2118.
55. Bagheri M., Borhani T. N. G., Zahedi G. Estimation of flash point and autoignition temperature of organic sulfur chemicals // *Energy Conversion and Management*. — 2012. — Vol. 58. — P. 185–196. doi: 10.1016/j.encon-man.2012.01.014.
56. Chen C.-C., Liaw H.-J., Tsai Y.-J. Prediction of flash point of organosilicon compounds using quantitative structure property relationship approach // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. — 2010. — Vol. 49, No. 24. — P. 12702–12708. doi: 10.1021/ie101381b.
57. Khajeh A., Modarress H. Quantitative structure-property relationship for flash points of alcohols // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. — 2011. — Vol. 50, No. 19. — P. 11337–11342. doi: 10.1021/ie2004708.
58. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н., Облиенко М. В. Прогнозирование пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // *Пожарная безопасность*. — 2013. — № 1. — С. 70–73.

59. Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В. Оценка пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 18–22.
60. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н. Применение дескрипторов при прогнозировании пожароопасных свойств фармацевтических препаратов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 3. — С. 105–108.
61. Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Калач А. В., Облиенко М. В. Прогнозирование пожароопасных свойств фармацевтических препаратов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2012. — № 3. — С. 18–20.
62. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н., Облиенко М. В. Прогнозирование пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2012. — № 3. — С. 20–22.
63. Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В. Применение метода расчета дескрипторов при прогнозировании температуры вспышки органических соединений // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. — 2012. — № 4 (28). — С. 136–141.
64. Khajeh A., Modarress H. QSPR prediction of flash point of esters by means of GFA and ANFIS // Journal of Hazardous Materials. — 2010. — Vol. 179, No. 1–3. — P. 715–720. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.03.060.
65. Chiorboli C., Gramatica P., Piazza R., Pino A., Todeschini R. 3D-modelling and prediction by WHIM descriptors. Part 7. Physico-chemical properties of haloaromatics. Comparison between WHIM and topological descriptors // SAR and QSAR in Environmental Research. — 1997. — Vol. 7, No. 1–4. — P. 133–150. doi: 10.1080/10629369708039128.
66. Andersson P. M., Sjöström M., Wold S., Lundstedt T. Comparison between physicochemical and calculated molecular descriptors // Journal of Chemometrics. — 2000. — Vol. 14, No. 5–6. — P. 629–642. doi: 10.1002/1099-128X(200009/12)14:5/6<629::AID-CEM606>3.0.CO;2-M.
67. Pogliani L. Model of twelve properties of a set of organic solvents with graph-theoretical and/or experimental parameters // Journal of Computational Chemistry. — 2010. — Vol. 31, No. 2. — P. 295–307. doi: 10.1002/jcc.21319.
68. Lazzús J. A. Prediction of flash point temperature of organic compounds using a hybrid method of group contribution + neural network + particle swarm optimization // Chinese Journal of Chemical Engineering. — 2010. — Vol. 18, No. 5. — P. 817–823. doi: 10.1016/S1004-9541(09)60133-6.
69. Lazzús J. A. Neural network-particle swarm modeling to predict thermal properties // Mathematical and Computer Modelling. — 2013. — Vol. 57, No. 9–10. — P. 2408–2418. doi: 10.1016/j.mcm.2012.01.003.
70. Patel S. J. Integrating safety issues in optimizing solvent selection and process design: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Texas A&M University, 2010. — 145 p.
71. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2010. — Vol. 49, No. 17. — P. 7378–7387. doi: 10.1021/ie9000794.
72. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2010. — Vol. 49, No. 17. — P. 8282–8287. doi: 10.1021/ie101378h.
73. Pan Y., Jiang J., Wang R., Cao H., Zhao J. Quantitative structure-property relationship studies for predicting flash points of organic compounds using support vector machines // QSAR & Combinatorial Science. — 2008. — Vol. 27, No. 8. — P. 1013–1019. doi: 10.1002/qsar.200810009.
74. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2009. — Vol. 48, No. 15. — P. 8282–8287. doi: 10.1021/ie101378h.
75. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2009. — Vol. 48, No. 15. — P. 7378–7387. doi: 10.1021/ie9000794.
76. Передерин Ю. В. Многофакторный анализ и прогноз свойств органических соединений // Ползуновский вестник. — 2008. — № 3. — С. 61–62.
77. Передерин Ю. В. Прогнозирование свойств высокоэнергетических композитов с использованием информационных технологий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Бийск, 2013. — 19 с.
78. Tetteh J., Suzuki T., Metcalfe E., Howells S. Quantitative structure-property relationships for the estimation of boiling point and flash point using a radial basis function neural network // Journal of Chemical Information and Computer Sciences. — 1999. — Vol. 39, No. 3. — P. 491–507. doi: 10.1021/ci980026y.

79. Astray G., Gálvez J. F., Mejuto J. C., Moldes O. A., Montoya I. Esters flash point prediction using artificial neural networks // *Journal of Computational Chemistry*. — 2013. — Vol. 34, No. 5. — P. 355–359. doi: 10.1002/jcc.23139.
80. Pan Y., Jiang J., Wang Z. Quantitative structure-property relationship studies for predicting flash points of alkanes using group bond contribution method with back-propagation neural network // *Journal of Hazardous Materials*. — 2007. — Vol. 147, No. 1–2. — P. 424–430. doi: 10.1016/j.jhaz-mat.2007.01.025.
81. Hoesterey B. L., Meuzelaar H. L. C., Pugmire R. J. Investigation of structure/property relationships of selected C5–C10 hydrocarbons using canonical correlation analysis of multisource data // *Energy Fuels*. — 1989. — Vol. 3, No. 6. — P. 730–734. doi: 10.1021/ef00018a013.
82. Korol'chenko Ya. A., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lantikhova L. V. Calculating the flash point of inflammable liquids // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. — 1969. — Vol. 5, No. 8. — P. 556–558 (Химия и технология топлив и масел. — 1969. — № 8. — С. 16–18). doi: 10.1007/BF00727794.
83. Шебеко Ю. Н., Иванов А. В., Корольченко А. Я., Алехина Э. Н., Бармакова А. А., Терешина Н. А. Инструкция по расчету температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей № 4р-82. — М.: ВНИИПО, 1983. — 36 с.
84. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
85. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
86. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 9–19.
87. Liu X., Liu Z. Research progress on flash point prediction // *Journal of Chemical & Engineering Data*. — 2010. — Vol. 55, No. 9. — P. 2943–2950. doi: 10.1021/jc1003143.

Материал поступил в редакцию 12 ноября 2013 г.

English

FLASH POINT. PART IV. THE DESCRIPTORS METHOD

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCS, Senior Researcher of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation); Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Alexshome@mail.ru)

ALEXEEV K. S., Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation)

SMIRNOV V. V., Lecturer of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: s_vitaly2006@list.ru)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Head of Chemistry Department of Ural State Agrarian University (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation); Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

ABSTRACT

Survey of procedures of the descriptors method of forecasting of flash point of organic liquids is given. This method is conditionally subdivided on four types. The first type is based on the physico-chemical and fire-hazard indices of fluids. The indicator variables, reflecting presence or lack of any structural fragment or substituent, are used in the second type. The third type is built on the topological coefficients characterizing features of a molecular structure. Stereo-electronic or Quantum-chemical

performances, which are related to the space structure of a molecule and electronic parameters of atoms, are applied in the fourth type.

Keywords: flash point; calculation; forecast; descriptor.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast II. Raschet cherez davleniye nasyschennogo para [Flash Point. Part II. Calculation via partial pressure]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 21–35.
2. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast III. Raschet cherez temperaturu kipeniya [Flash Point. Part III. Calculation via a boiling temperature]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 30–43.
3. Boridko V. S. *Programmnyy kompleks dlya prognozirovaniya svoystv slozhnykh organicheskikh soyedineniy na osnove analiza neodnoznachnykh zavisimostey "struktura – svoystvo"*. Dis. kand. tekhn. nauk [Programm complex for forecasting of properties of the complex organic compounds on the basis of the analysis of ambiguous dependences "structure – property". Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2000, pp. 8–9.
4. Monakhov V. T. *Pokazateli pozharnoy opasnosti veshchestv* [Fire hazard indices of organic compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 1972. 152 p.
5. Monakhov V. T. *Pokazateli pozharnoy opasnosti veshchestv i materialov. Analiz i predskazaniye. Gazy i zhidkosti* [Fire hazard indices of compounds and substances. Analysis and prediction. Gases and liquids]. Moscow, VNIPO Publ., 2007. 102 p.
6. Monakhov V. Klassifikatsiya legkovosplamenyayushchikhsya zhidkostey [Classification flammable liquids]. *Pozharnoye delo — Fire Action*, 1967, no. 2, pp. 25–26.
7. Evlanov S. F. Temperatura vspyshki v zakrytom tige i nizhniiy temperaturnyy predel vosplamneniya zhidkostey [Closed-cup flash point and lower temperature limit of ignition of liquids]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in the Industry*, 1991, no. 8, p. 40. Cited by [8].
8. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction. PhD diss.* Brigham Young University, 2010. 261 p.
9. Shimy A. A. Calculating flammability characteristics of hydrocarbons and alcohols. *Fire Technology*, 1970, vol. 6, no. 2, pp. 135–139. doi: 10.1007/BF02588900.
10. Vazhev V. V., Aldabergenov M. K., Vazheva N. V. Estimation of flash points and molecular masses of alkanes from their IR spectra. *Petroleum Chemistry*, 2006, vol. 46, no. 2, pp. 136–139. doi: 10.1134/S0965544106020125.
11. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Kalach A. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. XI. Galogenalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XI. Haloalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
12. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. I. Alkanoly [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. I. Alcohols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30.
13. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
14. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37.
15. Agafonov I. A., Garkushin I. K., Lyustritskaya D. V., Snopov S. G. Analiz i prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv individualnykh *n*-alkanov [The analysis and forecasting of fire-dangerous properties of individual *n*-alkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 16–19.
16. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. IV. Prostyye efiry [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16.

17. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46.
18. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
19. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. IX. Khlorkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
20. Keshavarz M. H., Ghanbarzadeh M. Simple method for reliable predicting flash points of unsaturated hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, vol. 193, pp. 335–341. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.07.044.
21. Keshavarz M. H. Estimation of flash points of saturated and unsaturated hydrocarbons. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2012, vol. 19, pp. 269–278.
22. Xu W. Estimation of three group parameters for correlating basic physical properties of organic compounds. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China) / Hua Gong Xue Bao*, 1992, vol. 43, no. 2, pp. 222–229.
23. Wang K., Du Z., Wang J. A new method for predicting the flash points of organic compounds from the information of molecular component. *Bulletin of Science and Technology (China)*, 2002, vol. 18, no. 3, pp. 235–239. Cited by [87].
24. Petrov A. V., Batov D. V., Mochalova T. A. Primeneniye additivno-gruppovogo metoda dlya rascheta kharakteristik goreniya ketonov [Using of additive group method for calculating the flash point of ketones]. *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Ivanovo Institute of Fire Service of Emercom of Russia*, 2008, no. 1, pp. 46–49.
25. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Opisaniye i prognozirovaniye temperatury vspyshki slozhnykh efirov v ramkakh additivno-gruppovogo metoda [Description and prediction of flash temperature of esters within the limits of additive-group method]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 15–18.
26. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Ispolzovaniye additivno-gruppovogo metoda dlya rascheta temperatury vspyshki spirtov, ketonov i slozhnykh efirov [Using of additive group method for calculating the flash point of alcohols, ketones and esters]. *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Ivanovo Institute of Fire Service of Emercom of Russia*, 2010, no. 1 (9). Available at: <http://www.edu-fire37.ru/contact/vestnik/> (Accessed 20 January 2013).
27. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Additive group techniques for calculating the flash point of alcohols, ketones and esters. *Journal of Applied Chemistry*, 2011, vol. 84, no. 1, pp. 54–59. doi: 10.1134/S1070427211010095.
28. Batov D. V. *Termokhimiya rastvorov organicheskikh neelektrolitov v smeshannykh rastvoritelyakh*. Dis. dokt. khim. nauk [Thermochemistry of solutions of organic non-electrolytes in mixed solvents. Dr. chem. sci. diss.]. Ivanovo, 2002. 317 p.
29. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Simple method to evaluate and to predict flash points of organic compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 8, pp. 4796–4800. doi: 10.1021/ie1021283.
30. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Calculating flash point numbers from molecular structure: an improved method for predicting the flash points of acyclic alkanes. *Fuels*, 2010, vol. 24, no. 1, pp. 392–394. doi: 10.1021/ef900883u.
31. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Improved prediction of hydrocarbon flash points from boiling point data. *Energy Fuels*, 2010, vol. 24, no. 9, pp. 4854–4856. doi: 10.1021/ef1005836.
32. Godinho J. M., Carroll F. A., Quina F. H. A simple method to evaluate, correlate and predict boiling and flash points of alkynes. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2012, vol. 23, no. 10, pp. 1895–1899. doi: 10.1590/S0103-50532012005000064.
33. Godinho J. M., Lin C.-Y., Carroll F. A., Quina F. H. Group contribution method to predict boiling points and flash points of alkylbenzenes. *Energy Fuels*, 2011, vol. 25, no. 11, pp. 4972–4976. doi: 10.1021/ef201121b.
34. Carroll F. A., Gordino J. M., Quina F. H. Development of a simple method to predict boiling points and flash points of acyclic alkenes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 24, pp. 14221–14225. doi: 10.1021/ie201241e.

35. Palatinus J. A., Sams C. M., Beeston C. M., Carroll F. A., Argenton A. B., Quina F. H. Kinney revisited: an improved group contribution method for the prediction of boiling points of acyclic alkanes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2006, vol. 45, no. 20, pp. 6860–6863. doi: 10.1021/ie0604425.
36. Stefanis E., Constantinou L., Panayiotou C. A group-contribution method for predicting pure component properties of biochemical and safety interest. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2004, vol. 43, no. 19, pp. 6253–6261. doi: 10.1021/ie0497184.
37. Rowley J. R., Rowley R. L., Wilding W. V. Estimation of the flash point of pure organic chemicals from structural contributions. *Process Safety Progress*, 2010, vol. 29, no. 4, pp. 353–358. doi: 10.1002/prs.10401.
38. Albahri T. A. Flammability characteristics of pure hydrocarbons. *Chemical Engineering Science*, 2003, vol. 58, no. 16, pp. 3629–3641. doi: 10.1016/S0009-2509(03)00251-3.
39. Wu Y.-S. *Predictive model of flash point for pure organic substances. Master thesis*. National Central University (China), 2005. 36 p.
40. Keshavarz M. H., Motamedoshariati H., Ghanbarzadeh M. A reliable simple method for prediction of the flash points of saturated hydrocarbons in order to improve their safety. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 58–75.
41. Fayet G., Rotricia P., Prana V., Adamo C. Prediction of physico-chemical properties for reach based on QSPR models. *Chemical Engineering Transactions*, 2013, vol. 31, pp. 925–930. doi: 10.3303/CET1331155.
42. Mathieu D. Flash points of organosilicon compounds: how data for alkanes combined with custom additive fragments can expedite the development of predictive models. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2012, vol. 51, no. 43, pp. 14309–14315. doi: 10.1021/ie301800s.
43. Mathieu D. Inductive modeling of physico-chemical properties: flash point of alkanes. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 179, no. 1–3, pp. 1161–1164. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.03.081.
44. Lee C. J., Ko J. W., Lee G. Flash point prediction of organic compounds using a group contribution and support vector machine. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2012, vol. 29, no. 2, pp. 145–153. doi: 10.1007/s11814-011-0164-8.
45. Lee C. J., Lee G., So W., Yoon E. S. A new estimation algorithm of physical properties based on a group contribution and support vector machine. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2008, vol. 25, no. 3, pp. 568–574. doi: 10.1007/s11814-008-0096-0.
46. Baskin I. I. *Modelirovaniye svoystv khimicheskikh soyedineniy s ispolzovaniyem iskusstvennykh neyronnykh setey i fragmentnykh deskriptorov. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk* [Modeling of properties of chemical compounds with using of artificial neural networks and fragmental descriptors. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2009, pp. 176–180.
47. Zhokhova N. I., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov A. N., Zefirov N. S. Fragmental descriptors in QSPR: flash point calculations. *Russian Chemical Bulletin*, 2003, vol. 52, no. 9, pp. 1885–1892. doi: 10.1023/B:RUCB.0000009629.38661.4c.
48. Pan Y., Jiang J., Wang Z. Prediction of the flash points of alkanes by group bond contribution method using artificial neural networks. *Frontiers of Chemical Engineering in China*, 2007, vol. 1, no. 4, pp. 390–394. doi: 10.1007/s11705-007-0071-z.
49. Gharagheizi F., Alamdari R. F., Angaji M. T. A new neural network-group contribution method for estimation of flash point temperature of pure components. *Energy and Fuels*, 2008, vol. 22, no. 3, pp. 1628–1635. doi: 10.1021/ef700753t.
50. Bagheri M., Bagheri M., Heidari F., Fazeli A. Nonlinear molecular based modeling of the flash point for application in inherently safer design. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2012, vol. 25, no. 1, pp. 40–51. doi: 10.1016/j.jlp.2011.06.025.
51. Nelson S. D., Seybold P. G. Molecular structure-property relationships for alkenes. *Journal of Molecular Graphics and Modeling*, 2001, vol. 20, no. 1, pp. 36–53. doi: 10.1016/s1093-3263(01)00099-7.
52. Pan Y., Jiang J., Ding X., Wang R., Jiang J. Prediction of Flammability characteristics of pure hydrocarbons from molecular structures. *AIChE Journal*, 2010, vol. 56, no. 3, pp. 690–701. doi: 10.1002/aic.12007.
53. Murugan R., Grendze M. P., Toomey J. E., Katritzky A. R., Karelson M., Lobanov V., Rachwal P. Predicting physical-properties from molecular structure. *Chemtech*, 1994, vol. 24, no. 6, pp. 17–23. doi: 10.1002/chin.199444268.
54. Pan Y., Jiang J., Wang R., Zhu X., Zhang Y. A novel method for predicting the flash points of organosilicon compounds from molecular structures. *Fire and Materials*, 2013, vol. 37, no. 2, pp. 130–139. doi: 10.1002/fam.2118.

55. Bagheri M., Borhani T. N. G., Zahedi G. Estimation of flash point and autoignition temperature of organic sulfur chemicals. *Energy Conversion and Management*, 2012, vol. 58, pp. 185–196. doi: 10.1016/j.encon-man.2012.01.014.
56. Chen C.-C., Liaw H.-J., Tsai Y.-J. Prediction of flash point of organosilicon compounds using quantitative structure property relationship approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2010, vol. 49, no. 24, pp. 12702–12708. doi: 10.1021/ie101381b.
57. Khajeh A., Modarress H. Quantitative structure-property relationship for flash points of alcohols. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 19, pp. 11337–11342. doi: 10.1021/ie2004708.
58. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Obliyenko M. V. Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniym deskriptorov [Prediction of fire hazardous properties of organic compounds using descriptors]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 1, pp. 70–73.
59. Kalach A. V., Sorokina Yu. N., Kartashova T. V., Spichkin Yu. V. Otsenka pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniym deskriptorov [Evaluation of the fire hazards properties of organic compounds by using descriptors]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 18–22.
60. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N. Primeneniye deskriptorov pri prognozirovanii pozharoopasnykh svoystv farmatsevticheskikh preparatov [Application of descriptors for prediction of fire hazard properties of pharmaceutical preparations]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 3, pp. 105–108.
61. Sorokina Yu. N., Kartashova T. V., Kalach A. V., Obliyenko M. V. Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv farmatsevticheskikh preparatov [Prediction of fire hazardous properties of pharmaceutical preparations]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Voronezh Institute of Fire Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 3, pp. 18–20.
62. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Obliyenko M. V. Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniym deskriptorov [Prediction of fire hazardous properties of organic compounds by using descriptors]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Voronezh Institute of Fire Service of Emercom of Russia*, 2012, no. 3, pp. 20–22.
63. Kalach A. V., Sorokina Yu. N., Kartashova T. V., Spichkin Yu. V. Primeneniye metoda rascheta deskriptorov pri prognozirovanii temperatury vspyshki organicheskikh soyedineniy [Application of the method of calculation of descriptors in predicting the flash point of organic compounds]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitelstvo i arkhitektura — Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2012, no. 4 (28), pp. 136–141.
64. Khajeh A., Modarress H. QSPR prediction of flash point of esters by means of GFA and ANFIS. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 179, no. 1–3, pp. 715–720. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.03.060.
65. Chiorboli C., Gramatica P., Piazza R., Pino A., Todeshini R. 3D-modelling and prediction by WHIM descriptors. Part 7. Physico-chemical properties of haloaromatics. Comparison between WHIM and topological descriptors. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 1997, vol. 7, no. 1–4, pp. 133–150. doi: 10.1080/10629369708039128.
66. Andersson P. M., Sjöström M., Wold S., Lundstedt T. Comparison between physicochemical and calculated molecular descriptors. *Journal of Chemometrics*, 2000, vol. 14, no. 5–6, pp. 629–642. doi: 10.1002/1099-128X(200009/12)14:5/6<629::AID-CEM606>3.0.CO;2-M.
67. Pogliani L. Model of twelve properties of a set of organic solvents with graph-theoretical and/or experimental parameters. *Journal of Computational Chemistry*, 2010, vol. 31, no. 2, pp. 295–307. doi: 10.1002/jcc.21319.
68. Lazzús J. A. Prediction of flash point temperature of organic compounds using a hybrid method of group contribution + neural network + particle swarm optimization. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2010, vol. 18, no. 5, pp. 817–823. doi: 10.1016/S1004-9541(09)60133-6.
69. Lazzús J. A. Neural network-particle swarm modeling to predict thermal properties. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, vol. 57, no. 9–10, pp. 2408–2418. doi: 10.1016/j.mcm.2012.01.003.
70. Patel S. J. Integrating safety issues in optimizing solvent selection and process design. PhD diss. Texas A&M University, 2010. 145 p.
71. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2010, vol. 49, no. 17, pp. 7378–7387. doi: 10.1021/ie9000794.

72. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2010, vol. 49, no. 17, pp. 8282–8287. doi: 10.1021/ie101378h.
73. Pan Y., Jiang J., Wang R., Cao H., Zhao J. Quantitative structure-property relationship studies for predicting flash points of organic compounds using support vector machines. *QSAR & Combinatorial Science*, 2008, vol. 27, no. 8, pp. 1013–1019. doi: 10.1002/qsar.200810009.
74. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, vol. 48, no. 15, pp. 8282–8287. doi: 10.1021/ie101378h.
75. Patel S. J., Ng D., Mannan M. S. QSPR flash point prediction of solvents using topological indices for application in computer aided molecular design. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, vol. 48, no. 15, pp. 7378–7387. doi: 10.1021/ie9000794.
76. Perederin Yu. V. Mnogofaktornyy analiz i prognoz svoystv organicheskikh soyedineniy [The multifactor analysis and the forecast of properties of organic compounds]. *Polzunovskiy vestnik — The Polzunov's bulletin*, 2008, no. 3, pp. 61–62.
77. Perederin Yu. V. *Prognozirovaniye svoystv vysokoenergeticheskikh kompozitov s ispolzovaniyem informatsionnykh tekhnologiy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Forecasting of properties of high-energy composites with use of information technology. Cand. tech. sci. diss. thesis]. Biysk, 2013. 19 p.
78. Tetteh J., Suzuki T., Metcalfe E., Howells S. Quantitative structure-property relationships for the estimation of boiling point and flash point using a radial basis function neural network. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 1999, vol. 39, no. 3, pp. 491–507. doi: 10.1021/ci980026y.
79. Astray G., Gálvez J. F., Mejuto J. C., Moldes O. A., Montoya I. Esters flash point prediction using artificial neural networks. *Journal of Computational Chemistry*, 2013, vol. 34, no. 5, pp. 355–359. doi: 10.1002/jcc.23139.
80. Pan Y., Jiang J., Wang Z. Quantitative structure-property relationship studies for predicting flash points of alkanes using group bond contribution method with back-propagation neural network. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, vol. 147, no. 1–2, pp. 424–430. doi: 10.1016/j.jhaz-mat.2007.01.025.
81. Hoesterey B. L., Meuzelaar H. L. C., Pugmire R. J. Investigation of structure/property relationships of selected C5–C10 hydrocarbons using canonical correlation analysis of multisource data. *Energy Fuels*, 1989, vol. 3, no. 6, pp. 730–734. doi: 10.1021/ef00018a013.
82. Korol'chenko Ya. A., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lantukhova L. V. Calculating the flash point of inflammable liquids. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1969, vol. 5, no. 8, pp. 556–558. doi: 10.1007/BF00727794.
83. Shebeko Yu. N., Ivanov A. V., Korol'chenko A. Ya., Alekhina E. N., Barmakova A. A., Tereshina N. A. *Instruktsiya po raschetu temperatury vspyshki i vosplameneniya goryuchikh zhidkostey № 4r-82* [Manual no. 4r-82. Calculation of flash and fire points for combustion liquids]. Moscow, VNIPO Publ., 1983. 36 p.
84. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroyeniyem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
85. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroyeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
86. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroyeniyem. X. Slozhnyye efiry (chast 2) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. X. Esters (part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 9–19.
87. Liu X., Liu Z. Research progress on flash point prediction. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2010, vol. 55, no. 9, pp. 2943–2950. doi: 10.1021/je1003143.

М. В. ГРАВИТ, канд. техн. наук, доцент кафедры “Управление и защита в ЧС”
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
(Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: marina.gravit@mail.ru)

УДК 624.001.4:006.354

ГАРМОНИЗАЦИЯ РОССИЙСКИХ И ЕВРОПЕЙСКИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ

Даны обзор и краткий анализ европейских нормативных документов, регламентирующих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты. Проведено сравнение терминов и определений, количества образцов в испытаниях, условий испытаний, методов оценки результатов испытаний. Показано, что особенно различаются методы для испытаний строительных конструкций с интумесцентными (вспучивающимися) покрытиями.

Ключевые слова: методы испытаний на огнестойкость; строительные конструкции; огнезащита; средства огнезащиты; горизонтальные защитные экраны; вертикальные защитные экраны; вспучивающиеся покрытия.

Расширение взаимодействия между Россией, странами ЕС и Таможенным союзом в области проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений ускоряет и процессы гармонизации соответствующих нормативных документов, в том числе регламентирующих методы определения огнестойкости строительных конструкций [1]. Гармонизация национальных стандартов с международными проводится различными методами в соответствии с ГОСТ Р 1.7–2008 [2].

В Российской Федерации применяется ГОСТ 30247.0–94 [3], который включает общие требования по испытаниям строительных конструкций на огнестойкость. Требования данного стандарта [3] являются приоритетными по отношению к требованиям других стандартов на методы испытаний на огнестойкость конкретных конструкций, например ГОСТ 30247.1–94 [4].

Одним из способов повышения огнестойкости строительных конструкций является использование средств огнезащиты [5, ст. 53]. Огнезащитная эффективность средств огнезащиты, применяемых для стальных конструкций, оценивается по ГОСТ Р 53295–2009 [6], для деревянных конструкций — по ГОСТ Р 53292–2009 [7]. Требованиями последних двух стандартов руководствуются также при разработке технической документации, сертификации, осуществлении контроля качества огнезащитных составов и выполненной огнезащиты строительных конструкций.

В европейской системе нормативных документов, регламентирующих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты (табл. 1), представлено восемь документов серии 13381 для каждого типа строительной конструкции (сталь, дерево, бетон, железобетон и т. д.). В них также оценивается огнезащитная эффективность применяемых средств огнезащиты. Причем если зазор между средством огнезащиты и защищаемой конструкцией (элементом) составляет более 5 мм, то независимо от материала конструкции применяются CEN/TS 13381-1 [8] для горизонтальных конструкций и EN 13381-2 [9] — для вертикальных; если же зазор менее 5 мм применяются EN 13381-4 [10]; при использовании вспучивающихся красок (реактивная защита) для стальных конструкций — EN 13381-8 [11], для деревянных — EN 13381-7 [12].

Во всех вышеперечисленных европейских нормативных документах используется метод предельных (критических) температур — температур, определенных и для внутреннего пространства, и для наружной поверхности, при которых материал конструкции, используемый в конструктивном строительном элементе, теряет несущую способность. Там, где используются композитные строительные материалы, выбирается наименьшее предельное значение температуры. Установлены следующие предельные температуры: 750 °С — для бетонных, стальных или композитных (бетон с профилированным

Таблица 1. Российские и европейские нормативные документы, регламентирующие методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты, и предположительные методы гармонизации

Российский стандарт	Европейский нормативный документ, область применения	Метод гармонизации*
ГОСТ 30247.1–94 [4]; ГОСТ Р 53298–2009 [13]	CEN/TS 13381-1:2005 [8]. Метод испытаний по определению огнестойкости горизонтальных конструкций, используемых для повышения предела огнестойкости горизонтальных несущих элементов средствами огнезащиты с зазором между защитным экраном и несущим конструктивным элементом более 5 мм	MOD (стандарт [8] и [13]) используются для конструкций с зазором 5 мм и более
ГОСТ 30247.1–94 [4]; ГОСТ Р 53295–2009 [6]	ENV 13381-2 [9]. Метод испытаний по определению огнестойкости вертикальных конструкций средствами огнезащиты с зазором между защитным экраном и несущим конструктивным элементом более 5 мм	MOD
ГОСТ 30247.1–94 [4]	EN 13381-3 [14]. Метод испытаний по определению огнестойкости несущих бетонных (в том числе армированных) конструкций с использованием систем огнезащиты. Метод применим ко всем огнезащитным средствам, включая напыление, вспучивающиеся (реактивные) покрытия, обшивку листами и композитные огнезащитные материалы	MOD
ГОСТ 30247.1–94 [4]; ГОСТ Р 53295–2009 [6]	EN 13381-4 [10]. Метод испытаний по определению огнестойкости стальных колонн и балок с использованием огнезащиты. Предусмотрена оценка в зависимости от толщины огнезащитного материала, размера стальных элементов, диапазона расчетных температур и периода времени, на который рассчитана огнезащита. Стандарт содержит метод определения эффективности огнезащитной системы относительно устойчивости ее формы и адгезии пенококса к защищаемым стальным конструкциям	NEQ
ГОСТ 30247.1–94 [4]	EN 13381-5 [15]. Метод испытаний по определению огнестойкости несущих профилированных составных конструкций или комбинированных плит из тонколистовой стали и бетона с системами огнезащиты; включает огнезащиту, выполненную способом напыления, применением огнезащитных покрытий и обшивок, а также комбинированных огнезащитных материалов	MOD
ГОСТ 30247.1–94 [4]	EN 13381-6 [16]. Метод испытания по определению способности огнезащитных систем повышать предел огнестойкости несущих стальных колонн, заполненных бетоном. Метод включает огнезащиту способом напыления, применением огнезащитных покрытий и обшивок, а также комбинированных огнезащитных материалов	NEQ
ГОСТ 30247.1–94 [4]; ГОСТ Р 53292–2009 [7]	EN 13381-7 [12]. Метод испытания по определению способности огнезащитных систем (обшивки, напыление и покрытия) повышать предел огнестойкости несущих деревянных конструкций. Оценка деревянных конструкций, защищенных горизонтальными или вертикальными защитными экранами, является предметом ENV 13381-1 [8] или ENV 13381-2 [9] соответственно	MOD
ГОСТ 30247.1–94 [4]; ГОСТ Р 53295–2009 [6]	EN 13381-8 [11]. Метод испытаний по определению огнестойкости конструкций с реактивными огнезащитными системами и огнезащитной эффективности таких систем	NEQ

* *Гармонизированные стандарты* — стандарты, которые приняты различными, занимающимися стандартизацией органами, распространяются на один и тот же объект стандартизации и обеспечивают взаимозаменяемость продукции, процессов или услуг и/или взаимное понимание результатов испытаний и информации, представляемой в соответствии с этими стандартами. В международной стандартизации, наряду с термином “гармонизированные стандарты”, применяется термин-синоним “эквивалентные стандарты”.

Идентичные стандарты (IDT) — гармонизированные стандарты, которые идентичны по содержанию и форме представления. При изложении идентичных стандартов, как правило, используют аутентичные переводы.

Модифицированные стандарты (MOD) — гармонизированные стандарты, которые имеют технические отклонения и/или различия по форме при условии их идентификации и объяснения.

Неэквивалентные стандарты (NEQ) — стандарты, которые имеют неидентифицированные технические отклонения и/или различия по форме представления. Неэквивалентные стандарты не являются гармонизированными [2].

стальным листом) элементов, 500 °C — для деревянных конструктивных элементов. Отметим, что в российских стандартах для всех конструкций установлена предельная температура 500 °C [3, 6].

Методы испытаний на огнестойкость с использованием огнезащиты согласно приведенным европейским нормативным документам предусматривают предоставление данных, которые могут быть использованы в качестве расчета огнестойкости элементов или конструкций в соответствии с процедурами, приведенными в Еврокодах (европейских нормах ряда EN 1990, ..., EN 1999). Данные нормативные документы содержат, в частности, расчетные методики по проектированию строительных конструкций (стальных, железобетонных, деревянных и пр.) с заданными параметрами огнестойкости [1].

В европейских документах средства огнезащиты разделяются на пассивные огнезащитные и химически активные (реактивные) огнезащитные материалы. Такие понятия, как “приведенная толщина металла” в российских документах и “секционный фактор” в европейских, отличаются формулой расчета и единицами измерения (табл. 2).

Как уже упоминалось, для оценки огнезащитной эффективности систем огнезащиты, в которых зазор между огнезащитой и защищаемым элементом (конструкцией) составляет более 5 мм, как правило, используются нормативные документы CEN/TS 13381-1:2005 [8] и ENV 13381-2 [9].

В CEN/TS 13381-1:2005 [8] приводится метод испытаний по определению способности горизонтальных защитных экранов (в том числе подвесных потолков), используемых в качестве огнестойкого элемента для увеличения предела огнестойкости горизонтальных несущих конструкций. Во время испытания измеряется температура во внутреннем пространстве зазора между защищаемой конструкцией и средством огнезащиты и температура на поверхности испытываемой конструкции. Испытание на огнестойкость защищенных горизонтальных элементов продолжают до тех пор, пока средняя температура, отмечаемая всеми термодарами во внутреннем пространстве зазора, не достигнет соответствующего предельного значения для применяемых конструктивных строительных элементов либо пока любое отдельное показание термодара не достигнет 750 °C для бетонных, стальных или композитных (бетон/профилированный стальной лист) элементов или 500 °C — для деревянных конструктивных элементов.

Аналогичный метод испытаний, только по определению огнестойкости строительных конструкций с использованием вертикальных защитных элементов, приводится в ENV 13381-2 [9].

Рассмотрим более подробно нормативный документ ENV 13381-4:2002 [10], содержащий метод определения огнестойкости стальных балок и колонн и оценку огнезащитной эффективности средств огнезащиты с зазором между поверхностью защищаемой конструкции и средством огнезащиты менее 5 мм. Документ включает: испытания, проведение которых необходимо для определения способности материала противостоять температурному воздействию; метод определения адгезии огнезащитных материалов с металлом; методику получения данных по характеристикам средств огнезащиты в условиях, определяемых стандартной кривой *температура – время* согласно EN 1363-1 [20]. В этом же документе содержится методология оценки результатов испытаний и руководство по процедуре интерполяции полученных результатов.

Результаты испытаний, полученные в соответствии с этой частью стандарта серии EN 13381, применимы прежде всего к стальным профилям с двутавровым (I) и широкополочным двутавровым (H) сечениями. В приложении к стандарту представлено руководство по применению результатов, полученных для стальных профилей I и H, к профилям другой формы.

В случае применения средств огнезащиты к балкам и колоннам при трехстороннем и четырехстороннем воздействии на них должны быть испытаны две нагруженные и две ненагруженные балки и не менее 10 профилей коротких стальных колонн. Количество образцов может быть увеличено до 18 или 26, чтобы полученные в испытаниях результаты соответствовали критериям их применимости. Размеры испытываемых балок и колонн приводятся в табл. 3.

Оценка результатов испытаний выполняется на основе дифференциального анализа или методов числовой регрессии. Возможно использование метода графического представления, входными данными для которого являются толщина огнезащитного материала на коротких колоннах и, при необходимости, данные о стабильности пенококса.

Стандарт EN 13381-8 [11] разработан в развитие предыдущего документа [10] относительно химически активных (реактивных, вспучивающихся, интумесцентных) покрытий — огнезащитных красок для повышения пределов огнестойкости стальных конструкций.

Оценка результатов испытаний включает диапазон толщин огнезащитного материала; диапазон площадей сечений конструкций, характеризующихся их секционными факторами; диапазон температур и диапазон времени действия средства огнезащиты до достижения критической температуры.

Таблица 2. Термины и определения в российских и европейских нормативных документах, регламентирующие методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций со средствами огнезащиты

Российский нормативный документ	Европейский нормативный документ
<i>Конструктивный способ огнезащиты</i> — облицовка объекта огнезащиты или иные конструктивные решения по его огнезащите. <i>Подвесной потолок</i> — горизонтальная конструкция, которая крепится с нижней стороны перекрытия или покрытия на расстоянии не менее 5 мм от него. <i>Огнезащитный подвесной потолок</i> — подвесной потолок, предназначенный для повышения огнестойкости защищаемого перекрытия или покрытия. <i>Лицевой элемент</i> — отделочная панель определенных размеров, имеющая различное функциональное назначение и крепящаяся с нижней стороны каркаса подвесного потолка [6]	<i>Горизонтальный защитный экран (horizontal protective membrane)</i> — горизонтальное покрытие или потолок с каркасной конструкцией, крепежом и изоляционными материалами, которые либо подвешены, либо непосредственно прикреплены к конструктивному строительному элементу для повышения огнестойкости [8]. <i>Вертикальный защитный экран (vertical protective membrane)</i> — материал или конструкция, которые устанавливаются перед вертикальным конструкционным элементом и предназначены для повышения его огнестойкости [9]
<i>Огнезащита</i> — технические мероприятия, направленные на повышение огнестойкости и (или) снижение пожарной опасности зданий, сооружений, строительных конструкций [6]	<i>Огнезащита (fire protection)</i> — защита, созданная для конструкционного элемента при помощи защитного экрана таким образом, что повышение температуры на поверхности испытываемой колонны ограничивается установленными пределами в течение периода воздействия пожара [8]
<i>Приведенная толщина металла $F_{пр}$ (мм)</i> — отношение площади поперечного сечения S (мм²) металлической конструкции к обогреваемой части ее периметра P (мм): $F_{пр} = S \cdot 10 / P$ [17]	<i>Фактор сечения (section factor) F (мм⁻¹)</i> — отношение внешнего периметра A_p (мм) стального элемента конструкции, на единицу длины которого воздействует пожар, к объему V (мм³), определяемому произведением площади его поперечного сечения на единицу длины: $F = A_p / V$ [10, 11]
<i>Средства огнезащиты</i> — огнезащитный состав или материал, обладающий огнезащитной эффективностью и предназначенный для огнезащиты различных объектов [6]	<i>Пассивные огнезащитные материалы (passive fire protection materials)</i> — материалы, которые обеспечивают огнезащиту, не изменяя своей физической формы. Они могут включать компоненты, содержащие воду, которая при нагревании испаряется и обеспечивает охлаждение [11]
<i>Термин отсутствует*</i>	<i>Химически активные огнезащитные материалы (reactive fire protection materials)</i> — специально разработанные материалы, при нагревании которых образуется химическая реакция с изменением их физической формы; огнезащита обеспечивается за счет термической изоляции и охлаждающих эффектов [11]
<i>Термин отсутствует</i>	<i>Стабильность пенококса (stickability)</i> — способность пенококса, образовавшегося при высокотемпературном воздействии на интумесцентное покрытие, оставаться стабильным (не трескаться, сохранять форму и т. д.) и обеспечивать заданную огнезащитную эффективность, несмотря на деформации и прирост температуры на поверхности конструкции и в печи [11]
<i>Термин отсутствует</i>	<i>Профильный коэффициент</i> (два типа): — <i>профилированный</i>: отношение площади по внешнему периметру стального конструктивного элемента, подверженного воздействию огня, к объему, определяемому произведением площади его поперечного сечения на единицу длины; — <i>коробчатый</i>: отношение площади наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к его объему

* В проекте изменения к ГОСТ 53295 вводится термин “тонкослойное вспучивающееся огнезащитное покрытие (огнезащитная краска) — способ огнезащиты строительных конструкций, основанный на нанесении на обогреваемую поверхность конструкции специальных красок или лакокрасочных систем по ГОСТ Р 28246, предназначенных для повышения предела огнестойкости строительных конструкций и обладающих огнезащитной эффективностью. Принцип действия огнезащитной краски (лакокрасочной системы) основан на химической реакции, активируемой при воздействии пожара, в результате которой толщина огнезащитного покрытия многократно увеличивается, образуя на обогреваемой поверхности конструкции теплоизоляционный слой, защищающий конструкцию от нагревания” [1]. В сводах правил [18, 19] приводится термин “тонкослойное огнезащитное покрытие” (вспучивающееся покрытие, краска) — специальное огнезащитное покрытие, наносимое на нагреваемую поверхность конструкции, с толщиной сухого слоя, как правило, не превышающей 3 мм, увеличивающее многократно свою толщину при огневом воздействии. Оба варианта термина достаточно неудачные, поскольку первый дает определение “краски” как “способа”, что неверно, поскольку краска является лакокрасочным материалом, а не способом его нанесения. Второй вариант использует допущения и расплывчато определяет параметр увеличения кратности вспучивания покрытия.

Таблица 3. Типы и размеры образцов для определения влияния средств огнезащиты для стальных конструкций согласно EN 13381-4 [10]

Профили конструкций	Типы и размеры конструкций
Профили нагруженных балок	Двутавр I, сечение (400 ± 20) мм; профильный коэффициент для профилированной защиты (150 ± 10) м ⁻¹ ; коэффициент для защиты коробчатого типа (110 ± 10) м ⁻¹ . Длина балки не менее 4000 мм
Профили ненагруженных балок	Длина каждой балки (1000 ± 50) мм
Профили нагруженных колонн	Размеры $(300\pm 10)\times(300\pm 10)$ мм; профильный коэффициент для профилированной защиты (150 ± 10) м ⁻¹ ; коэффициент для защиты коробчатого типа (100 ± 10) м ⁻¹ . Минимальная высота, подвергаемая нагреванию, 3000 мм
Профили (ненагруженных) высоких колонн	Размеры $(300\pm 10)\times(300\pm 10)$ мм; профильный коэффициент для профилированной защиты (150 ± 10) м ⁻¹ ; коэффициент для защиты коробчатого типа (100 ± 10) м ⁻¹ . Минимальная высота 2000 мм. Для оценки химически активных огнезащитных систем и для трехстороннего применения огнезащитной системы к балкам и колоннам количество требуемых испытываемых образцов такое же, как и для пассивных огнезащитных материалов; высокая колонна испытывается с максимальной толщиной огнезащитного материала. Испытания высоких колонн требуются для получения данных по стабильности пенококса, образовавшегося при огневом воздействии на огнезащитное покрытие конструкции (сопротивление сползанию и растеканию)
Профили коротких колонн	Высота (1000 ± 50) мм. Эквивалентны испытываемым профилям нагруженных или высоких колонн из такого же типа стали

Общие условия проведения испытаний состоят в следующем: определенное количество коротких стальных образцов с профилями I или H либо квадратных сечений, защищенных огнезащитной краской, испытывается в соответствии с EN 1363-1 [20]. Испытания нагруженных и ненагруженных конструкций при стандартном температурном воздействии позволяют получить данные по способности системы огнезащиты с вспучивающимся составом обеспечивать заданную огнезащитную эффективность. Результаты испытаний применимы к профилям сечения I и H при использовании метода интерполяции в сторону убывания секционного фактора. Принципиально возможно применение полученных результатов и к другим формам сечения, например квадратным, прямоугольным или цилиндрическим, а также к уголкам, швеллерам и тавровым профилям.

В Российской Федерации в стандарте [4] для испытываемых балок и других горизонтальных стержневых конструкций принята длина 4000 мм; для колонн, столбов и других вертикальных стержневых конструкций — высота 2500 мм. Для определения огнезащитной эффективности в качестве образцов используются стальные колонны двутаврового сечения с профилем с приведенной толщиной 3,4 мм и высотой (1700 ± 10) мм [6]. В стандартах [3, 4, 6, 7] не предусмотрены измерения с целью определения параметра “стабильности пенококса”, образовавшегося при огневом воздействии на огнезащитное покрытие строительной конструкции.

Результаты испытаний в соответствии с российскими стандартами применимы к профилям сечения I только в сторону экстраполяции приведенной толщины, причем расчеты начинаются (при обязательной сертификации) с приведенной толщины 3,4 мм. Данные в европейских нормативных документах относятся к минимальному профильному коэффициенту 50 м⁻¹ (что примерно соответствует приведенной толщине 3,2 мм). Результаты, полученные при любом профильном коэффициенте, могут применяться к стальным элементам, имеющим более низкие профильные коэффициенты. Как уже было сказано, в российских нормах данное положение нигде прямо не применяется.

В европейских нормативных документах количество образцов для испытаний варьируется от 10 до 32; предусматривается также возможность использования методов интерполяции, что позволяет прогнозировать показатели огнестойкости для различных конфигураций и типов конструкций. В российских стандартах для испытаний регламентируется использование двух образцов; не применяются методы интерполяции, а также не используется методология расширенного применения результатов испытаний по определению огнезащитной эффективности средств огнезащиты и пределов огнестойкости стальных конструкций [21].

В настоящее время специалистами ФБГУ ВНИИПО МЧС России представлена окончательная редакция проекта изменения № 1 к стандарту

[6], в котором учитываются отдельные положения европейского стандарта EN 13381-4 [10], а именно содержатся приложения, описывающие методы огневого испытания стальной колонны и стальной балки с огнезащитой при воздействии нагрузки. Величина нагрузки должна быть равной $(30,0 \pm 1,5)$ т для двутавровой колонны высотой (3000 ± 10) мм и $(7,00 \pm 0,35)$ т для двутавровой балки длиной (3200 ± 10) мм [22].

В данном проекте стандарта приводится также термин “огнезащитная краска”, который раньше в нормативных документах в области пожарной безопасности не употреблялся (см. примечание к табл. 2), и введен “метод огневого испытания стальных конструкций с тонкослойными вспучивающимися огнезащитными покрытиями (красками) при температурном режиме медленно развивающегося (тлеющего) пожара”.

В целом, сравнивая европейские и российские нормативные документы, регламентирующие методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты, можно сделать следующие выводы:

- гармонизация документов, содержащих методики оценки результатов испытаний на огнестойкость с использованием средств огнезащиты, представляется достаточно сложным процессом, поскольку даже формально количество документов и их область применения не совпадают в аспекте всех возможных средств огнезащиты; также в европейских нормативных документах в отличие от российских методы испытаний

пределов огнестойкости и огнезащитной эффективности для каждого типа конструкции объединены в одном документе;

- в европейских нормах в отличие от российских для оценки результатов испытаний используются дифференциальный анализ, методы числовой регрессии, методы графического представления; используется принцип расширенного применения полученных результатов, позволяющий при внесении определенных изменений в огнестойкие элементы не проводить дорогостоящие испытания;
- в национальных строительных нормах и правилах государств — членов ЕС приводятся условия, при которых рекомендуется использовать метод по воздействию тлеющего температурного режима на стальные и деревянные конструкции с реактивными системами огнезащиты [11, 12]. В России данное положение изложено в проекте изменений к стандарту [6] для стальных конструкций с использованием средств огнезащиты [22].

Таким образом, работа по гармонизации российских и европейских нормативных документов, регламентирующих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты, ведется непрерывно, однако этот процесс будет достаточно длительным и сложным, поскольку системы нормативных документов и методы оценки результатов испытаний существенно различаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасанов И. Р., Гравит М. В., Косачев А. А., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Гармонизация европейских и российских нормативных документов, устанавливающих общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и применению температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 3. — С. 49–57.
2. ГОСТ Р 1.7–2008. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила оформления и обозначения при разработке на основе применения международных стандартов. — Введ. 25.12.2008 г. — М. : Стандартинформ, 2009. — 42 с.
3. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.1996 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996. — 8 с.
4. ГОСТ 30247.1–94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. — Введ. 01.01.1996 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1995. — 7 с.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федер. закона № 117-ФЗ от 10.07.2012 г.) : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163.
6. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009. — 10 с.
7. ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009. — 10 с.

8. CEN/TS 13381-1:2005. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 1: Horizontal protective membranes. URL : <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=EA9094678BC942D31DF71017F455AF12?preview=&dokkey=407307&selectedLocale=en> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
9. ENV 13381-2:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 2: Vertical protective membrane. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067944> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
10. EN 13381-4:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 4: Applied protection to steel members. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030256847> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
11. EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 8: Applied protection. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030256862> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
12. ENV 13381-7:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 7: Applied protection to timber members. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067954> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
13. ГОСТ Р 53298–2009. Потолки подвесные. Метод испытаний на огнестойкость. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009. — 7 с.
14. ENV 13381-3:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 3: Applied protection to concrete members. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067949> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
15. ENV 13381-5:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 5: Applied protection to concrete/profiled sheet steel composite members. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067952> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
16. EN 13381-6:2008. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 6. Applied protection to concrete filled hollow steel columns. URL : <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=87F0CF23C65FAF2FD4E4533BBDEAE970?preview=&dokkey=316998&selectedLocale=en> (дата обращения: 05.11.2013 г.).
17. НПБ 236–97. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности : приказ ГУГПС МВД России от 29.04.97 г. № 25; введ. 01.06.97 г. — М. : ВНИИПО МВД России, 1997. URL : <http://base.garant.ru/3922897> (дата обращения: 04.11.2013 г.).
18. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : приказ МЧС России от 21.11.2012 г. № 693; введ. 01.12.2012 г. — М., 2012. URL : www.vniipo.ru/resources/SP_2/SP%202_12_2012.doc (дата обращения 04.11.2013 г.).
19. СП 28.13330.2012 (актуализированная ред. СНиП 2.03.11–85). Защита строительных конструкций от коррозии : приказ Минрегиона РФ от 29.12.2011 г. № 625; введ. 01.01.2013 г. — М. : ФАУ ФЦС, 2012. — 94 с. URL : <http://www.nostroy.ru/getfile?id=17129&file=%D0%A1%D0%9F+28.13330.pdf> (дата обращения: 04.11.2013 г.).
20. EN 1363-1:1999. Fire resistance tests. General requirements. URL : <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000019969914> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
21. Хасанов И. Р., Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Макеев А. А. Использование принципа расширенного применения результатов испытаний строительных конструкций и материалов в европейской системе нормирования пожарной безопасности // Архитектура и строительство России. — 2013. — № 3. — С. 24–28.
22. Изм. к ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности (проект, окончательная редакция). Сайт ФБГУ ВНИИПО МЧС России, раздел “Техническое регулирование”. URL : http://www.vniipo.ru/news/tex_regl.php (дата обращения: 21.10.2013 г.).

Материал поступил в редакцию 12 ноября 2013 г.

HARMONIZATION OF RUSSIAN AND EUROPEAN REGULATORY DOCUMENTS ESTABLISHING THE METHODS OF FIRE TESTS OF BUILDING STRUCTURES WITH THE USE OF FIRE PROTECTION

GRAVIT M. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of Department of Management and Protection in Emergencies, St. Petersburg State
Polytechnical University (Polytekhnicheskaya St., 29, St. Petersburg, 195251, Russia Federation;
e-mail address: marina.gravit@mail.ru)

ABSTRACT

This article provides a brief overview and analysis of European regulations governing the methods of fire tests of building structures with the use of fire protection, differences in terms and definitions, the number of samples, test conditions, methods of assessment. It's shown to be especially different methods for testing of building structures with intumescent coatings: the number of test specimens in European regulations varies from 10 to 32 in contrast to the Russian methods, which are regulated by two samples; European documents in detail the application of methods interpolation, which allows to predict the performance of fire resistance for various configurations and types of structures; combined test methods and limits fire fireproof efficiency. In Russian norms interpolation method is used only as a guideline and never in the case of certification not the method of extended application of the results. In the long term through the harmonization of test methods for fire resistance of building structures with the use of intumescent fire protection coatings development of the non-equivalent standards are projected, for other means of fire protection — the modified harmonized standards.

Keywords: methods of test for fire resistance; building constructions; fire protection; means of fire protection; horizontal protective membrane; vertical protective membrane; intumescent coatings.

REFERENCES

1. Khasanov I. R., Gravit M. V., Kosachev A. A., Pekhotikov A. V., Pavlov V. V. *Garmonizatsiya yevropeyskikh i rossiyskikh normativnykh dokumentov, ustanavlivayushchikh obshchiye trebovaniya k metodam ispytaniy na ognestoykost stroitelnykh konstruksiy i primeneniyu temperaturnykh rezhimov, uchityvayushchikh realnyye usloviya pozhara* [Harmonization of European and Russian regulatory documents establishing general requirements for fire-resistance test methods of building constructions and the use of temperature curves that take into account real fire conditions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 49–57.
2. *National Standard of Russian Federation 1.7–2008. Standardization in the Russian Federation. National standards of the Russian Federation. Rules of presentation and indication by development on the basis of application of international standards*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 42 p. (in Russian).
3. *Interstate Standard 30247.0–94. Elements of building constructions. Fire-resistance tests methods. General requirements*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2003. 8 p. (in Russian).
4. *Interstate Standard 30247. 1–94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. Load-bearing and separating constructions*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1995. 7 p. (in Russian).
5. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law No. 123 (in red. Federal Law of 10.07.2012 No. 117). *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2008, no. 163 (in Russian).
6. *National Standard of Russian Federation 53295–2009. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 10 p. (in Russian).
7. *National Standard of Russian Federation 53292–2009. Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 10 p. (in Russian).
8. *CEN/TS 13381-1:2005. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 1: Horizontal protective membranes*. Available at: <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=EA9094678BC942D31DF71017F455AF12?preview=&dokkey=407307&selectedLocale=en> (Accessed 05.11.2013).

9. *ENV 13381-2:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 2: Vertical protective membrane.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067944> (Accessed 05.11.2013).
10. *EN 13381-4:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 4: Applied protection to steel members.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030256847> (Accessed 05.11.2013).
11. *EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 8: Applied protection.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030256862> (Accessed 05.11.2013).
12. *ENV 13381-7:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 7: Applied protection to timber members.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067954> (Accessed 05.11.2013).
13. *National Standard of Russian Federation 53298–2009. Suspended ceilings. Fire resistance test method.* Moscow, Standartinform Publ., 2009. 7 p. (in Russian).
14. *ENV 13381-3:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 3: Applied protection to concrete members.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067949> (Accessed 05.11.2013).
15. *ENV 13381-5:2002. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 5: Applied protection to concrete/profiled sheet steel composite members.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030067952> (Accessed 05.11.2013).
16. *EN 13381-6:2008. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members — Part 6. Applied protection to concrete filled hollow steel columns.* Available at: <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=87F0CF23C65FAF2FDFE4533BBDEAE970?preview=&dockey=316998&selectedLocale=en> (дата обращения: 05.11.2013).
17. *Fire protection standards 236–97. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1997. Available at: <http://base.garant.ru/3922897> (Accessed 04.11.2013) (in Russian).
18. *Set of Rules 2.13130.2012. Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units.* Moscow, 2012. Available at: www.vniipo.ru/resources/SP_2/SP%202_12_2012.doc (Accessed 04.11.2013) (in Russian).
19. *Set of Rules 28.13330.2012. Protection against corrosion of construction (Actualization Edition of Construction norms and regulations 2.03.11–85).* Moscow, FAU FTsS Publ., 2012. Available at: <http://www.nostroy.ru/getfile?id=17129&file=%D0%A1%D0%9F+28.13330.pdf> (Accessed 04.11.2013) (in Russian).
20. *EN 1363-1:1999. Fire resistance tests. General requirements.* Available at: <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000019969914> (Accessed 21.10.2013).
21. Khasanov I. R., Eremina T. Yu., Gravit M. V., Makeev A. A. Ispolzovaniye printsipa rasshirennogo primeneniya rezul'tatov ispytaniy stroitel'nykh konstruktsiy i materialov v yevropeyskoy sisteme normirovaniya pozhar'noy bezopasnosti [Using the principle of extended application of test building constructions and materials in the European regulation of fire safety]. *Arkhitectura i stroitel'stvo Rossii — Architecture and Construction of Russia*, 2013, no. 3, pp. 24–28.
22. *Revision of the Interstate Standard 53295–2009. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency.* Site of FBGU All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia. Available at: http://www.vniipo.ru/news/tex_regl.php (Accessed 21.10.2013) (in Russian).

Н. В. БАРАНОВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: firedanger@narod.ru)

М. В. ЖАРИКОВА, канд. техн. наук, доцент, доцент Херсонского национального технического университета (Украина, 73040, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24; e-mail: marina.jarikova@gmail.com)

УДК 614.841.12:533.6

ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ (на примере Пролетарского лесничества Украины)

Представлена веб-ориентированная геоинформационная система, разработанная с помощью платформы Django на языке программирования Python, представляющая собой программную реализацию системы охраны леса от пожаров. Реализованы картографические функции с помощью фреймворка GeoDjango, который является встроенным модулем Django. Для создания базы данных была использована система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL и ее расширение PostGIS, предназначенное для хранения в базе географических данных. Показано, что веб-ориентированная система позволяет оперировать картографической информацией, а программный комплекс, выполняемый на сервере, — получать и визуализировать ряд параметров, характеризующих лесную пожарную опасность.

Ключевые слова: лесная пожарная опасность; оценка; вероятность; геоинформационная система; веб-приложение.

Введение

Охрана леса от пожаров включает в себя широкий спектр действий, который не ограничен только реактивными мерами, такими как тушение пожара [1]. Согласно определению, приведенному в [2], охрана лесов от пожаров — это совокупность действий, направленных на уменьшение отрицательного влияния лесных пожаров на природные ресурсы, экосистемы, а также окружающую среду в соответствии с целями организации, осуществляющей управление. Охрана лесов от пожаров включает в себя как традиционные действия по контролю за пожароопасной обстановкой (выявление, подавление огня и т. д.), так и более сложные действия (выжигание, управление лесными горючими материалами (ЛГМ) и т. д.). Основные задачи охраны лесов от пожаров — предупреждение лесных пожаров, оптимальное тушение и ликвидация их последствий. Важным аспектом в разрезе их предупреждения являются технологии и методы их прогнозирования.

Особенности предметной области и цель статьи

Принятие решений при тушении пожаров основывается на большом объеме знаний, описывающих сложные взаимосвязи между физико-химическими, биологическими, социальными и экономическими процессами. Более того, эти процессы характеризуются

стохастичностью, пространственной привязкой и зависимостью от времени. В процессе принятия решений по охране леса от пожаров требуется анализ сложных неопределенных ситуаций в целях оценки влияния на них множества возможных альтернативных факторов. Задача усложняется еще и тем, что на лицо, принимающее решение (ЛПР), накладывается очень большая ответственность, так как ошибки здесь могут привести к пагубным социальным, экономическим и экологическим последствиям [1, 3].

Сложность принятия решений по охране леса от пожаров обусловлена следующими аспектами [1, 3]:

- территориальной привязкой;
- неопределенностью и приближенностью знаний [1, 3];
- изменчивостью характера протекания процессов во времени (ЛПР приходится принимать решения в постоянно изменяющихся условиях и при ограниченных временных ресурсах);
- наличием как количественных, так и качественных показателей, характеризующих динамику развития пожара [1, 3];
- применением для оценки качественных показателей соответствующих инструментов — экспертных методов, методов теории нечетких множеств и др., которые характеризуются определенным уровнем субъективизма;

- сложностью формализации;
- многокритериальностью принятия решений [1, 3].

В процессе принятия решений по защите леса от пожаров ЛПР необходимо идентифицировать и оценивать альтернативные решения, принимая во внимание множество часто конфликтующих между собой факторов, связанных со здоровьем и безопасностью людей [4, 5], воздействием на окружающую среду, экономическими и социальными последствиями. Конечной целью является выбор альтернативного варианта с наименьшим риском для населения, общества и окружающей среды.

Для принятия решений по охране леса от пожаров в условиях неопределенности ЛПР приходится анализировать большие объемы информации при существенных ограничениях во времени на оценку обстановки и принятие решений. В таких случаях решение часто принимается на основе имеющегося опыта и знания общих закономерностей пожарной обстановки в лесах. В данной ситуации значительно повысить эффективность анализа пространственной информации могут геоинформационные технологии [6, 7].

Ранее было проведено концептуальное проектирование веб-ориентированной геоинформационной системы оценки лесной пожарной опасности на основе вероятностного критерия [8, 9]. Возможна также реализация алгоритмов вероятностной оценки лесной пожарной опасности на основе параллельных вычислительных технологий [9]. Ранее методика была реализована с использованием систем быстрой разработки приложений для IBM PC [10] и модели сушки слоя ЛГМ [11]. Кроме того, возможно применение математических моделей зажигания ЛГМ [12, 13], верифицированных экспериментально [14].

Целью статьи является описание геоинформационного подхода к построению системы охраны леса от пожаров, который является комбинацией вероятностных [15] и эмпирических [16, 17] методов.

Вероятностный критерий оценки лесной пожарной опасности

С использованием основных положений теории вероятностей [18] получена формула для оценки вероятности возникновения лесного пожара для j -го временного интервала лесопожарного сезона [19]:

$$P_j = [P(A) P(A_j/A) P_j(\text{ЛП}/A, A_j) + P(M) P(M_j/M) P_j(\text{ЛП}/M, M_j)] P_j(C), \quad (1)$$

где P_j — вероятность возникновения лесного пожара для j -го интервала на контролируемой лесной территории;

$P(A)$ — вероятность антропогенной нагрузки;

$P(A_j/A)$ — вероятность наличия источников огня в j -й день;

$P_j(\text{ЛП}/A, A_j)$ — вероятность возникновения пожара из-за антропогенной нагрузки на территории выдела;

$P(M)$ — вероятность возникновения сухих гроз на территории выдела;

$P(M_j/M)$ — вероятность наземного грозового разряда;

$P_j(\text{ЛП}/M, M_j)$ — вероятность возникновения лесного пожара от молнии при условии, что сухие грозы могут иметь место на территории выдела;

$P_j(C)$ — вероятность возникновения пожара по метеоусловиям лесопожарного созревания (вероятность того, что слой ЛГМ будет сухой);

j — индекс, соответствующий дню пожароопасного сезона.

Для определения всех сомножителей (вероятностей) в формуле (1) автор предлагает использовать частоту событий и статистические данные для конкретного лесхоза [19]:

$$P(A_j/A) \approx N_{\text{ПДН}}/N_{\text{ПН}}, \quad P(A) \approx N_A/N_{\text{ПС}}; \quad (2)$$

$$P_j(\text{ЛП}/A, A_j) \approx N_{\text{ПА}}/N_{\text{КП}}; \quad (3)$$

$$P(M_j/M) \approx N_{\text{МЧ}}/N_{\text{МС}}, \quad P(M) \approx N_M/N_{\text{ПС}}; \quad (4)$$

$$P_j(\text{ЛП}/M, M_j) \approx N_{\text{ПМ}}/N_{\text{КП}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{ПДН}}$ — число пожаров в конкретный день недели;

$N_{\text{ПН}}$ — общее количество пожаров за неделю;

N_A — количество дней в пожароопасный сезон при наличии антропогенной нагрузки, достаточной для зажигания ЛГМ;

$N_{\text{ПС}}$ — общее число дней пожароопасного сезона;

$N_{\text{ПА}}$ — количество пожаров от антропогенной нагрузки;

$N_{\text{КП}}$ — общее количество пожаров в сезон;

$N_{\text{МЧ}}$ — число наземных грозовых разрядов на конкретный час, начиная с 00.00 ч;

$N_{\text{МС}}$ — общее число наземных разрядов в сутки;

N_M — число дней, в которые имели место молнии (при сухих грозах);

$N_{\text{ПМ}}$ — количество пожаров от молний при сухих грозах.

Очевидно, что точность определения вероятностей по формулам (2)–(5) тем выше, чем больше случаев будет рассмотрено для данного лесхоза, поэтому в лесхозах следует ежегодно регистрировать все параметры пожароопасного сезона (N_A , $N_{\text{ПА}}$, $N_{\text{КП}}$, N_M , $N_{\text{ПС}}$, $N_{\text{ПМ}}$, $N_{\text{ПДН}}$, $N_{\text{ПН}}$, $N_{\text{МЧ}}$, $N_{\text{МС}}$).

В формуле (1) присутствует сомножитель $P_j(C)$ — вероятность лесной пожарной опасности по метеоусловиям. В более ранних работах эта вероятность вычислялась через время сушки слоя ЛГМ [11].

Однако в настоящий момент внедрить на всей территории государства методику в таком виде затруднительно, так как для моделирования процесса сушки слоя ЛГМ нужна информация о его начальном влагосодержании. В настоящей работе предлагается компромиссный вариант — рассчитывать вероятность по метеоусловиям с использованием комплексного метеорологического показателя, регламентированного в государственном стандарте. Диапазон изменения данного показателя начинается с нуля и не имеет верхней границы. Однако можно положить его верхнюю границу, выбрав максимально возможное значение в течение пожароопасного сезона [19].

Для оценки вероятности лесной пожарной опасности комплексный метеорологический показатель нормируем на единицу:

$$P_j(C) = \text{КМП}_d / \text{КМП}_{\max}, \quad (6)$$

где КМП_d — значение комплексного метеорологического показателя для дня, на который делается прогноз;

$\text{КМП}_{\max}$ — максимальное значение комплексного метеорологического показателя.

Тогда вероятность лесной пожарной опасности по метеоусловиям будет изменяться от 0 до 1.

Комплексный метеорологический показатель (КМП) вычисляется по формуле [16, 17]:

$$\text{КМП} = \sum_n t(t - r), \quad (7)$$

где n — число дней, прошедшее после последнего дождя;

t — температура воздуха;

r — температура точки росы.

Точка росы характеризует количество влаги в воздухе. Чем выше точка росы, тем больше влажность воздуха при данной температуре. Температура точки росы определяется как температура, до которой воздух должен охладиться (при постоянном давлении и постоянном содержании водяного пара), чтобы было достигнуто его насыщение и начался процесс конденсации, т. е. появилась роса. Состояние насыщения может существовать только при условии, что воздух содержит максимально возможное количество водяного пара при данных температуре и давлении.

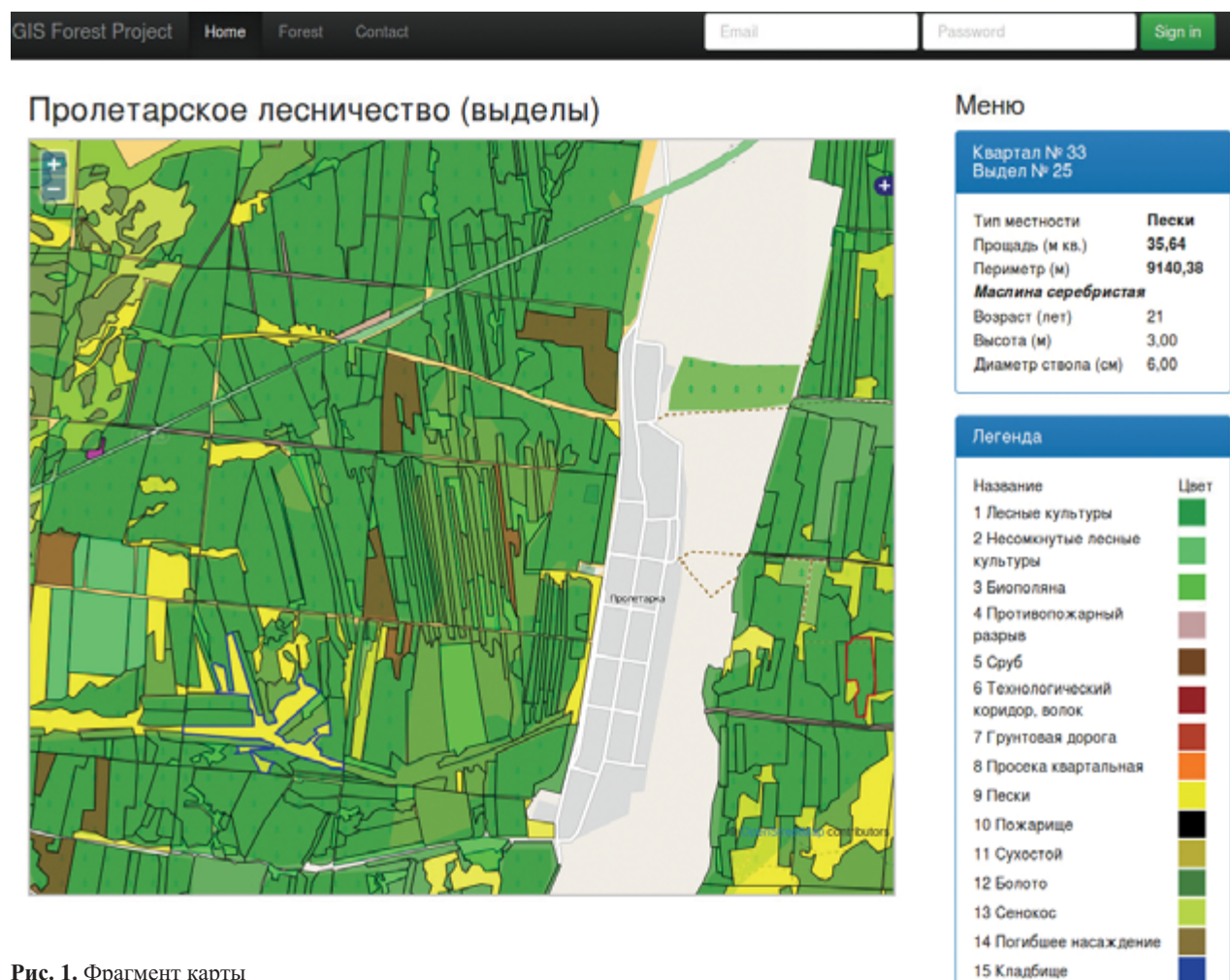


Рис. 1. Фрагмент карты

Описание программного продукта

Программная реализация системы охраны леса от пожаров представляет собой веб-ориентированную геоинформационную систему, разработанную с помощью платформы Django на языке программирования Python [20]. Для реализации картографических функций был использован фреймворк GeoDjango, который является встроенным модулем Django. Создание базы данных проводилось на основе системы управления базами данных (СУБД) PostgreSQL и ее расширения PostGIS, предназначенного для хранения в базе географических данных. Веб-ориентированная система позволяет оперировать картографической информацией.

На рис. 1 отображен скриншот программы с фрагментом карты Пролетарского лесничества Цюрупинского лесного хозяйства Херсонской области и информацией о выбранном участке местности, выделенном синим контуром.

На карте имеется выпадающая панель, на которой перечислены все слои (рис. 2). Слева от названия каждого слоя на панели расположено окошко, в ко-

тором установка или снятие флажка позволяет отображать или скрывать соответствующий слой.

На рис. 3 представлен фрагмент карты лесопожарного риска лесничества, для каждого участка которого определяется величина лесопожарного риска. Лесопожарный риск подразделяется на четыре группы: критический, высокий, умеренный и нулевой.

Типичные результаты

Программный комплекс, выполняемый на сервере, позволяет получать и визуализировать ряд параметров (рис. 4), характеризующих лесную пожарную опасность. На рис. 4,а представлено изменение температуры воздуха в течение конкретного месяца (апрель – июнь); на рис. 4,б — значения критерия Нестерова (апрель – июнь); на рис. 4,в — распределение вероятности возникновения лесных пожаров по метеоусловиям с апреля по июнь; на рис. 4,г — итоговое значение вероятности возникновения лесных пожаров. Указанные графические данные получены в результате работы веб-системы и доступны на персональной странице пользователя веб-ориен-

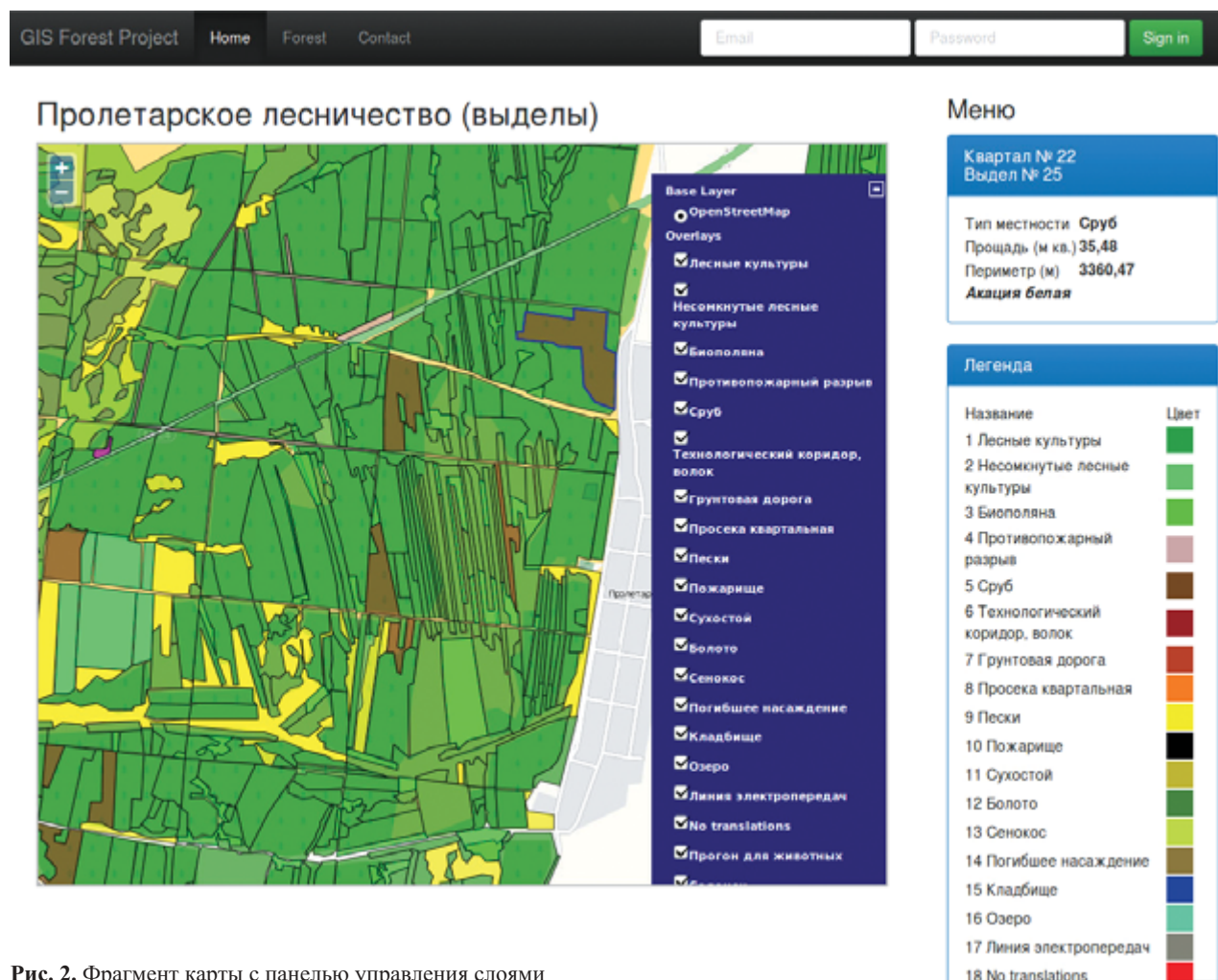


Рис. 2. Фрагмент карты с панелью управления слоями

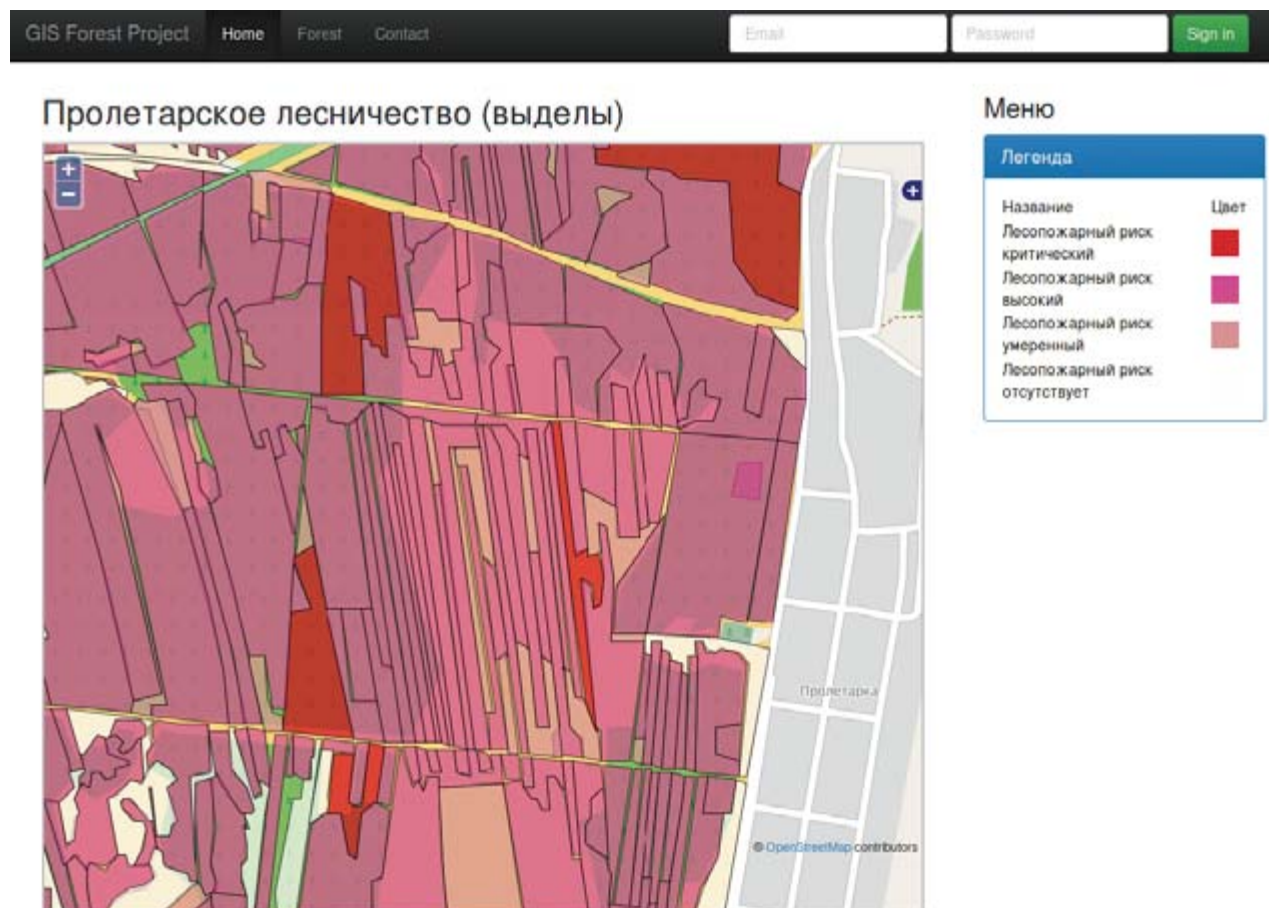


Рис. 3. Фрагмент карты лесопожарного риска

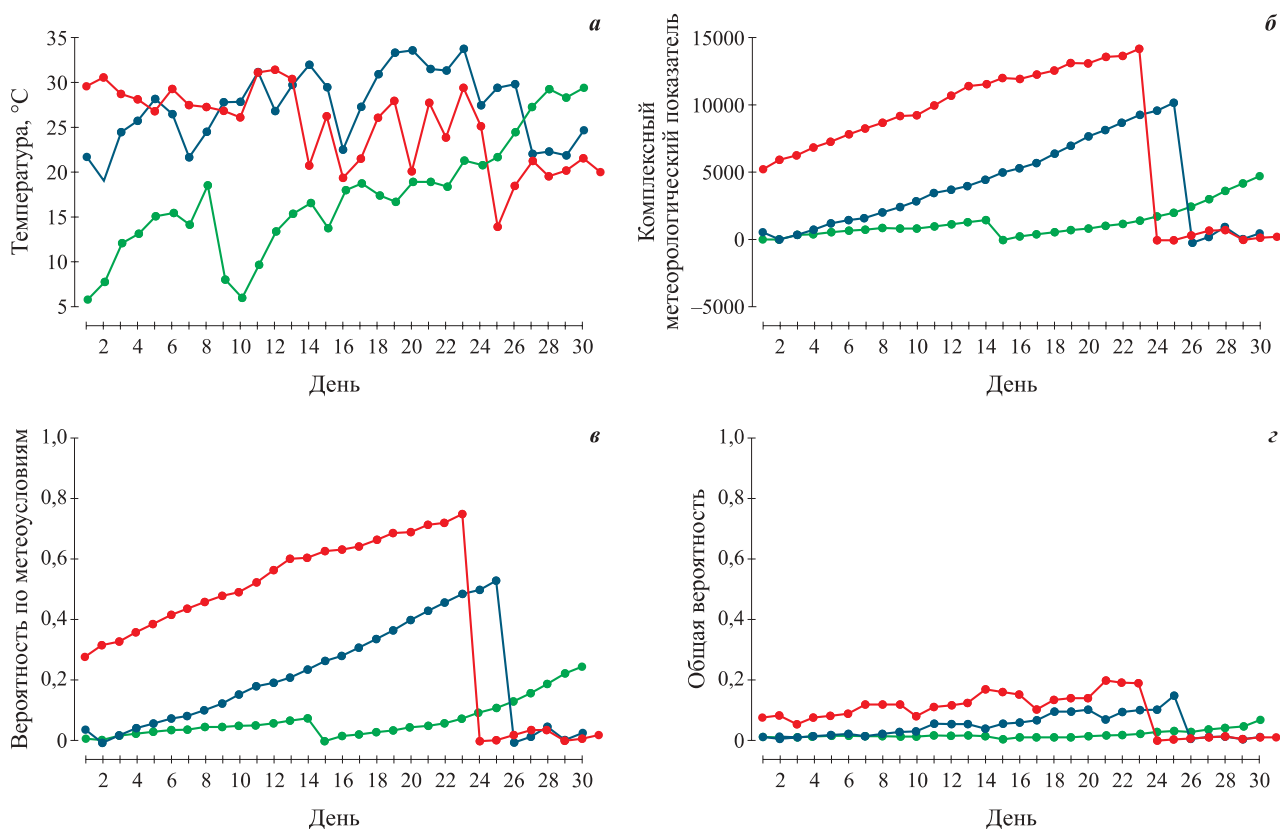


Рис. 4. Графические результаты оценки лесной пожарной опасности: ● — апрель; ● — май; ● — июнь

тированной геоинформационной системы по авторизованному доступу.

Следует отметить, что для более точной и оперативной оценки лесной пожарной опасности можно применять технологии дистанционного зондирования Земли [21]. Кроме того, данные прибора MODIS Terra/Aqua [22] могут быть использованы для оценки температуры приземного слоя атмосферы при расчетах комплексного метеорологического показателя по формуле (7).

Таким образом, представлены типичные результаты, демонстрирующие возможности веб-ориентированной геоинформационной системы, на примере лесопокрытой территории Пролетарского лесниче-

ства Херсонской области Украины. Следует отметить, что возможна интеграция в описываемую ГИС-систему разработок по оценке пожарной безопасности населенного пункта [23].

Выводы

В настоящей статье рассматривается геоинформационный подход к построению системы охраны леса от пожаров [24]. В качестве дальнейшего развития модели планируется включение в систему рассуждений на основе прецедентов (CBR — Case-based reasoning), позволяющих проводить поиск решения в новой ситуации путем адаптации решений, которые использовались ранее в аналогичных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ходаков В. Е., Жариковач М. В.* Лесные пожары: методы исследования. — Херсон : Гринь Д. С., 2012. — 456 с.
2. *Simard A. J.* Wildland fire management: the economics of policy alternatives // Forestry Technical Report 15, Department of Fisheries and Environment, Canadian Forestry Service, 1976.
3. *Кузнецов Г. В., Барановский Н. В.* Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
4. *Барановский Н. В., Барановская С. В., Исакова А. В.* Методика оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения // Пожарная безопасность. — 2007. — № 3. — С. 71–74.
5. *Барановский Н. В., Барановская С. В.* Исследование качества жизни людей, проживающих в условиях неблагоприятной лесопожарной обстановки // Пожарная безопасность. — 2008. — № 3. — С. 67–73.
6. *Dong X. U., Dai L.-M., Shao G.-F., Tang L., Wang H.* Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe forestry bureau, Jilin, China // Journal of Forestry Research. — 2005. — Vol. 16, No. 3. — P. 169–174.
7. *Wisdom M. D.* Application of Bayesian network for fire risk mapping using GIS and remote sensing data // GeoJournal. — 2011. — Vol. 76. — P. 283–296.
8. *Жарикова М. В., Барановский Н. В., Ляшенко Е. Н.* Концептуальный проект веб-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 3. — С. 62–68.
9. *Барановский Н. В., Жарикова М. В., Ляшенко Е. Н.* Проект веб-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности с применением параллельных вычислительных технологий // Экологические системы и приборы. — 2012. — № 8. — С. 22–27.
10. *Барановский Н. В., Гришин А. М., Лоскутникова Т. П.* Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров // Вычислительные технологии. — 2003. — № 2. — С. 16–26.
11. *Гришин А. М., Барановский Н. В.* Сравнительный анализ простых моделей сушки слоя ЛГМ, включая данные экспериментов и натурных наблюдений // Инженерно-физический журнал. — 2003. — Т. 76, № 5. — С. 166–169.
12. *Барановский Н. В., Кузнецов Г. В.* Конкретизация неустановленных причин в детерминированно-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 24–27.
13. *Кузнецов Г. В., Барановский Н. В.* Пространственная постановка и численное исследование задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей // Бутлеровские сообщения. — 2010. — Т. 22, № 12. — С. 30–37.
14. *Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И.* Зажигание лесных горючих материалов однократными, нагретыми до высоких температур частицами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 13–16.

15. Барановский Н. В. Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 93–99.
16. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. — М.–Л. : Гослесбумиздат, 1949. — 76 с.
17. ГОСТ Р 22.1.09–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999. — 10 с.
18. Назаров А. А., Терпугов А. Ф. Теория вероятностей и случайных процессов : учебное пособие. — Томск : Изд-во НТЛ, 2006. — 204 с.
19. Барановский Н. В. Методика прогнозирования лесной пожарной опасности как основа нового государственного стандарта // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4. — С. 80–84.
20. Форсье Дж., Биссекс П., Чан У. Django. Разработка веб-приложений на Python. — М. : Символ-Плюс, 2009. — 456 с.
21. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Focused sun's rays and forest fire danger: new concept // Proceedings of SPIE. — 2013. — Vol. 8890, paper 889011. doi: 10.1117/12.2033929.
22. Morisette J. T., Giglio L., Csizsar I., Justice C. O. Validation of the MODIS active fire product over Southern Africa with ASTER data // International Journal of Remote Sensing. — 2005. — Vol. 26, No. 19. — P. 4239–4264.
23. Барановский Н. В., Жарикова М. В. Геоинформационные технологии в прогнозировании пожарной безопасности сельских населенных пунктов // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 11. — С. 71–80.
24. Ходаков В. Е., Жарикова М. В., Барановский Н. В., Ляшенко Е. Н. Проект Web-ориентированной геоинформационной системы лесного хозяйства // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2012. — № 1 (44). — С. 72–81.

Материал поступил в редакцию 16 января 2014 г.

English

WEB-ORIENTED GEOINFORMATION SYSTEM OF FOREST FIRE DANGER ESTIMATION (On example of the Proletarian forest area of Ukraine)

BARANOVSKIY N. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University
(Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: firedanger@narod.ru)

ZHARIKOVA M. V., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor,
Kherson National Technical University (Berislavskoe Highway, 24, Kherson, 73040, Ukraine;
e-mail address: marina.jarikova@gmail.com)

ABSTRACT

Protection of forest from fires includes a wide spectrum of actions which is not limited only by jet measures, such as fire extinguishing. Protection of forests from fires is a set of the actions directed on reduction of negative influence of forest fires on natural resources, ecosystems, and also environment according to the purposes of the organisation supervising administration. Protection of forests from fires includes as traditional actions under the control over fire-dangerous conditions (revealing, fire suppression etc.), and more difficult actions (prescribed burnings, management of forest fuels, etc.). The primary goals of protection of forests from fires are the prevention of forest fires, their optimum suppression and liquidation of consequences. A prominent aspect in a cut of the prevention of forest fires are technologies and methods of their forecasting.

Paper purpose is the description of the geoinformation approach to construction of system of protection of forests from fires which is a combination of probabilistic and empirical methods.

Formula for an estimation of forest fire occurrence probability for j-th time interval of fire season is obtained using probability theory substantive provisions. Program realisation of system of protec-

tion of forests from fires represents the web-oriented geoinformation system developed by means of platform Django in programming language Python. For realisation of cartographical functions has been used framework GeoDjango which is built in module Django. For database creation the control system of databases PostgreSQL and its expansion PostGIS intended for storage in base of geographical data have been used. Web-oriented system allows to operate with the cartographical information. The program complex which is executed on a server, allows to obtain and visualise a number of the parameters characterising forest fire danger.

Technologies of remote sensing of the Earth can be used for more exact and operative estimation of forest fire danger. Besides, device MODIS Terra/Aqua data can be used for an estimation of ground layer temperature of atmosphere at calculations of a complex meteorological indicator.

The typical results showing possibilities of web-oriented geoinformation system on example of forested territory of the Proletarian forest area of the Kherson region of Ukraine are presented.

Keywords: forest fire danger; estimation; probability; geoinformation system; web-application.

REFERENCES

1. Khodakov V. E., Zharikovach M. V. Lesnyye pozhary: metody issledovaniya [Forest fires: research methods]. Kherson, Grin D. S. Publ., 2012. 456 p.
2. Simard A. J. Wildland fire management: the economics of policy alternatives. Forestry Technical Report 15, Department of Fisheries and Environment, Canadian Forestry Service, 1976.
3. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fire occurrence and their ecological consequences]. Novosibirsk, Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 301 p.
4. Baranovskiy N. V., Baranovskaya S. V., Isakova A. V. Metodika otsenki vliyaniya lesnykh pozharov na zdorovye naseleniya [Technique of an estimation of influence of forest fires on population health]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 3, pp. 71–74.
5. Baranovskiy N. V., Baranovskaya S. V. Issledovaniye kachestva zhizni lyudey, prozhivayushchikh v usloviyakh neblagopoluchnoy lesopozharnoy obstanovki [Research of life quality of the people living in conditions unsuccessful forest fire conditions]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 3, pp. 67–73.
6. Dong X. U., Dai L.-M., Shao G.-F., Tang L., Wang H. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe forestry bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 2005, vol. 16, no. 3, pp. 169–174.
7. Wisdom M. D. Application of Bayesian network for fire risk mapping using GIS and remote sensing data. *GeoJournal*, 2011, vol. 76, pp. 283–296.
8. Zharikova M. V., Baranovskiy N. V., Lyashenko E. N. Kontseptualnyy proekt veb-orientirovannoy geograficheskoy informatsionnoy sistemy prognoza lesnoy pozharnoy opasnosti [Conceptual project of the web-oriented geographical information system of the forecast of forest fire danger]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 62–68.
9. Baranovskiy N. V., Zharikova M. V., Lyashenko E. N. Proekt veb-orientirovannoy geograficheskoy informatsionnoy sistemy prognoza lesnoy pozharnoy opasnosti s primeneniym paralelnykh vychislitelnykh tekhnologiy [Project of the web-oriented geographical information system of the forecast of forest fire danger with application of parallel computing technologies]. *Ekologicheskiye sistemy i pribory — Ecological Systems and Devices*, 2012, no. 8, pp. 22–27.
10. Baranovskiy N. V., Grishin A. M., Loskutnikova T. P. Informatsionno-prognosticheskaya sistema opredeleniya veroyatnosti vozniknoveniya lesnykh pozharov [Information-prognostic system of definition of probability of forest fire occurrence]. *Vychislitelnyye tekhnologii — Computing Technologies*, 2003, no. 2, pp. 16–26.
11. Grishin A. M., Baranovskiy N. V. Comparative analysis of simple models of drying of the forest combustibles, including the data of experiments and natural observations. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2003, vol. 76, no. 5, pp. 166–169.
12. Baranovskiy N. V., Kuznetsov G. V. Konkretizatsiya neustanovlennyykh prichin v determinirovannoveroyatnostnoy modeli prognoza lesnoy pozharnoy opasnosti [Concrete of the unstated reasons in a deterministic-probabilistic forecasting model of forest fire danger]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 24–27.

13. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Prostranstvennaya postanovka i chislennoye issledovaniye zadachi o zazhiganiy sloya lesnogo goryuchego materiala nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Spatial statement and numerical research of a problem about ignition of a layer of a forest fuel by heated up to high temperatures particle]. *Butlerovskiyee soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2010, vol. 22, no. 12, pp. 30–37.
14. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye lesnykh goryuchikh materialov odinochnymi, nagretyimi do vysokikh temperatur chastitsami [Ignition of forest fuel by single heated up to high temperatures particles]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 13–16.
15. Baranovskiy N. V. Otsenka veroyatnosti vozniknoveniya lesnykh pozharov s uchetom meteosloviy, antropogennoy nagruzki i grozovoy aktivnosti [Estimation of probability of forest fire occurrence taking into account meteorological conditions, anthropogenic loading and storm activity]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 1, pp. 93–99.
16. Nesterov V. G. *Gorimost lesa i metody yeye opredeleniya* [Combustibility of forests and methods of its definition]. Moscow–Leningrad, Goslesbumizdat, 1949. 76 p.
17. *State Standard 22. 1. 09–99. Safety in emergencies. Monitoring and forecasting of forest fires. General requirements*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1999. 10 p. (in Russian).
18. Nazarov A. A., Terpugov A. F. *Teoriya veroyatnostey i sluchaynykh protsessov* [Probability theory and stochastic processes. Manual]. Tomsk, Publishing house NTL, 2006. 204 p.
19. Baranovskiy N. V. Metodika prognozirovaniya lesnoy pozharnoy opasnosti kak osnova novogo gosudarstvennogo standarta [Technique of forecasting of forest fire danger as a basis of new state standard]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 4, pp. 80–84.
20. Forsie J., Bissex P., Tub W. *Django. Razrabotka veb-prilozheniy na Python* [Development web appendices on Python]. Moscow, Symbol-Plus Publ., 2009. 456 p.
21. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Focused sun's rays and forest fire danger: new concept. *Proceedings of SPIE*, 2013, vol. 8890, paper 889011. doi: 10.1117/12.2033929.
22. Morissette J. T., Giglio L., Justice C. O. Validation of the MODIS active fire product over Southern Africa with ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, vol. 26, no. 19, pp. 4239–4264.
23. Baranovskiy N. V., Zharikova M. V. Geoinformatsionnyye tekhnologii v prognozirovaniy pozharnoy bezopasnosti selskikh naselennykh punktov [Geoinformation technology in forecasting of fire safety of rural settlements]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 11, pp. 71–80.
24. Khodakov V. E., Zharikova M. V., Baranovskiy N. V., Lyashenko E. N. Proekt Web-orientirovannoy geoinformatsionnoy sistemy lesnogo khozyaystva [Project of the web-oriented geoinformation system of a forestry]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Kherson National Technical University*, 2012, no. 1, pp. 72–81.

И. А. КАЙБИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Kaibitchev@mail.ru)

Е. И. КАЙБИЧЕВА, ведущий специалист-эксперт, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Свердловской обл. "Свердловскстат" (Россия, 620041, г. Екатеринбург, ул. Толмачева, 23)

УДК 519.25

ИНДЕКСЫ ПОЖАРНОГО РИСКА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Показано, что одной из проблем статистики пожаров является отсутствие индексов, характеризующих обстановку с пожарными рисками на территории Российской Федерации, которые были бы аналогичны индексу Доу-Джонса, используемому в экономике и фондовом рынке для оценки их состояния. Выполнен расчет индексов пожарного риска в Российской Федерации на примере 2002 г. на основе подхода Доу-Джонса. Выделены наиболее проблемные регионы и регионы с кризисной обстановкой.

Ключевые слова: статистика пожаров; индекс Доу-Джонса; пожарный риск.

Понятиям *опасность* и *риск* посвящено много исследований [1–5], так же как и понятию *пожарный риск* и методике его расчета [6–8].

К основным пожарным рискам относят следующие [6–8]:

- 1) риск для человека столкнуться с пожаром (его опасными факторами) за единицу времени R_1 (в настоящее время этот риск удобно измерять в "пожар/(10³ чел.·год)");
- 2) риск для человека погибнуть при пожаре (оказаться его жертвой) R_2 (чел./10² пожаров);
- 3) риск для человека погибнуть от пожара за единицу времени R_3 (чел./10⁵ чел.·год).

Очевидно, что эти риски связаны соотношением

$$R_3 = R_2 R_1. \quad (1)$$

Риск R_1 характеризует возможность реализации пожарной опасности, а риски R_2 и R_3 — некие последствия этой реализации.

Распределение числа пожаров в России, приходящихся на 1000 чел. (риск R_1), определено в работе [8] (рис. 1). Для формирования государственной программы по снижению пожарных рисков практическую ценность представляет выделение трех групп регионов: с низким уровнем пожарного риска, опасных, кризисных. В кризисных регионах необходимо будет проводить неотложные мероприятия, а в опасных — плановые. В группе регионов с низким уровнем риска разрабатывать мероприятия по снижению пожарного риска нет необходимости. Критерия разбиения регионов на вышеперечисленные группы в работе [8] нет. В связи с этим результаты данной известной работы нужно дополнить разработкой критериев разбиения регионов РФ на группы с низким уровнем риска, опасные и кризисные.

В экономике и финансах для оценки их состояния активно применяется индекс Доу-Джонса [9, 10]. Возможность использования аналогичного подхода для оценки пожарной опасности показана в работах [11–20].

Методика расчета индекса риска пожара достаточно проста. На первом этапе регионы России ранжируются в порядке убывания значений риска пожара. Затем из них отбираются 30 регионов с максимальными значениями данного показателя. Они образуют листинг расчета индекса риска пожара (табл. 1) и считаются в дальнейшем опасными. Индекс риска пожара рассчитывается путем усреднения показателей регионов, попавших в листинг. Предложенная методика выделения опасной группы регионов позволяет четко определить регионы, требующие пристального внимания и разработки программ по снижению риска.

Кроме того, среди опасных регионов, попавших в листинг, можно определить кризисную группу (в табл. 1 выделена полужирным шрифтом). В эту группу будут входить регионы со значениями риска, превышающими величину индекса. Кризисная группа не имеет заранее заданного числа членов (регионов). Число регионов в кризисной группе зависит от обстановки с пожарами. В этих регионах требуется "антикризисное управление", направленное на оперативное снижение показателей риска.

Распределение числа погибших на пожарах в России на 100 тыс. чел. за 2002 г. (риск R_2) определено в работе [8] (рис. 2). Полученные в работе [8] результаты можно дополнить расчетом индекса гибели от пожара за год и соответствующим листингом (табл. 2). Регионы, попавшие в листинг индекса

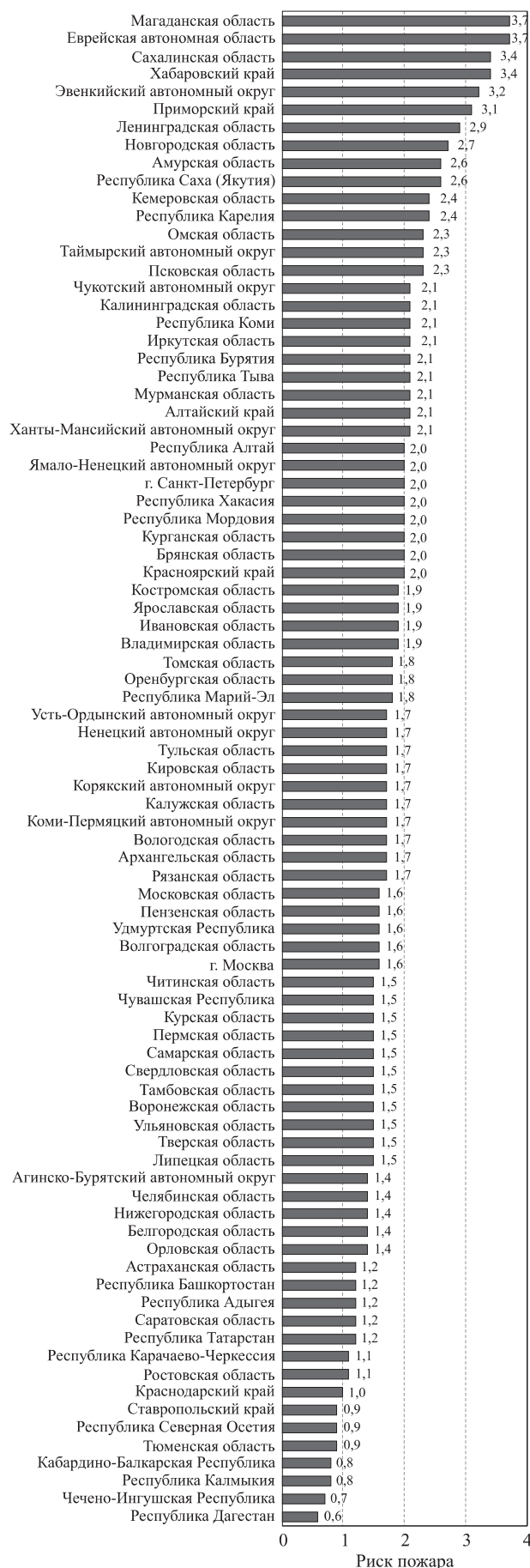


Рис. 1. Риск пожара в России в 2002 г. [8]

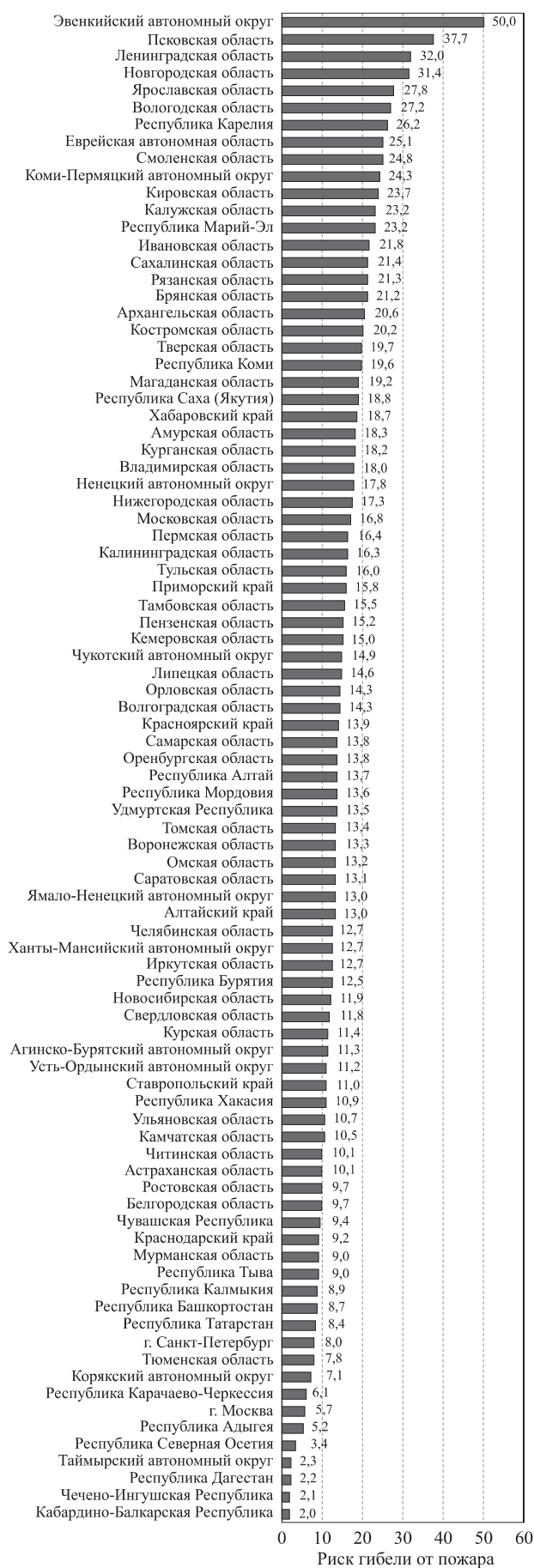


Рис. 2. Риск гибели от пожара за год в России в 2002 г. [8]

Таблица 1. Листинг расчета индекса риска пожара на территории Российской Федерации за 2002 г.

Место	Регион	Риск
1	Еврейская автономная область	3,7
2	Магаданская область	3,7
3	Хабаровский край	3,4
4	Сахалинская область	3,4
5	Эвенкийский автономный округ	3,2
6	Приморский край	3,1
7	Ленинградская область	2,9
8	Новгородская область	2,7
9	Республика Саха (Якутия)	2,6
10	Амурская область	2,6
11	Республика Карелия	2,4
12	Кемеровская область	2,4
13	Псковская область	2,3
14	Таймырский автономный округ	2,3
15	Омская область	2,3
16	Камчатская область	2,2
17	Смоленская область	2,2
18	Ханты-Мансийский автономный округ	2,1
19	Алтайский край	2,1
20	Мурманская область	2,1
21	Республика Тыва	2,1
22	Республика Бурятия	2,1
23	Иркутская область	2,1
24	Республика Коми	2,1
25	Калининградская область	2,1
26	Чукотский автономный округ	2,1
27	Красноярский край	2,0
28	Брянская область	2,0
29	Курганская область	2,0
30	Республика Мордовия	2,0
Индекс риска пожара		2,48

риска гибели за год, образуют опасную группу. Отметим, что состав опасных групп, определенных по риску пожара (см. табл. 1) и риску гибели от пожара (см. табл. 2), различается.

Среди регионов, попавших в данный листинг (см. табл. 2), можно выделить кризисную группу. В нее вошли регионы (выделены полужирным

Таблица 2. Листинг расчета индекса риска гибели от пожара на территории Российской Федерации за 2002 г.

Место	Регион	Риск
1	Эвенкийский автономный округ	50
2	Псковская область	37,7
3	Ленинградская область	32,0
4	Новгородская область	31,4
5	Ярославская область	27,8
6	Вологодская область	27,2
7	Республика Карелия	26,2
8	Еврейская автономная область	25,1
9	Смоленская область	24,8
10	Коми-Пермяцкий автономный округ	24,3
11	Кировская область	23,7
12	Калужская область	23,3
13	Республика Марий-Эл	23,2
14	Ивановская область	21,8
15	Сахалинская область	21,4
16	Рязанская область	21,3
17	Брянская область	21,2
18	Архангельская область	20,6
19	Костромская область	20,2
20	Тверская область	19,7
21	Республика Коми	19,6
22	Магаданская область	19,2
23	Республика Саха (Якутия)	18,8
24	Хабаровский край	18,7
25	Амурская область	18,3
26	Курганская область	18,2
27	Владимирская область	18,0
28	Ненецкий автономный округ	17,8
29	Московская область	16,8
30	Пермская область	16,4
Индекс риска гибели от пожара за год		23,49

шрифтом), для которых величина риска превышает значение индекса риска гибели за год.

На завершающем этапе исследования выполнен расчет индексов риска пожара и риска гибели от пожара за 2002 год. Выделены опасная и кризисная группы регионов. Полученные результаты полезны для формирования программы по снижению рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах : учебное пособие. — М. : Деловой экспресс, 2004. — 352 с.
2. Акимов В. А., Порфирьев Б. Н. Кризисы и риск: к вопросу взаимосвязи категорий // Проблемы анализа риска. — Т. 1, № 1. — М. : Деловой экспресс, 2004. — С. 38–49.

3. Брушлинский Н. Н. Снова о рисках и управлении безопасностью систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2002. — Вып. 4. — С. 230–234.
4. Владимиров В. А., Измалков В. И., Измалков А. В. Оценка рисков и управление техногенной безопасностью. — М. : Деловой экспресс, 2002. — 184 с.
5. Брушлинский Н. Н., Кленко Е. А. К вопросу о вычислении рисков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2004. — Вып. 1. — С. 71–73.
6. Брушлинский Н. Н. О понятии пожарного риска и связанных с ним понятиях // Пожарная безопасность. — 1999. — № 3. — С. 83–85.
7. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М. Оценка рисков пожаров и катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 1992. — Вып. 1 — С. 13–39.
8. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Коробко В. Б., Соколов С. В., Вагнер П., Лупанов С. А., Кленко Е. А. Пожарные риски. — Вып. 1. Основные понятия / Под ред. Н. Н. Брушлинского. — М. : Национальная академия наук пожарной безопасности, 2004. — 47 с.
9. Sullivan A., Sheffrin S. M. Economics: Principles in action. — New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2003. — 551 p.
10. Anderson B. Economics and the Public Welfare: A financial and economic history of the United States, 1914–1946. — New York : Liberty Press, 1979. — 595 p.
11. Кайбичев И. А. Аналоги индекса Доу-Джонса в статистике пожаров // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации : V Всерос. науч.-практ. конф., 26 октября 2011 г. — Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2011. — Ч. 1. — С. 104–109.
12. Кайбичев И. А. Подход Доу-Джонса в статистике пожаров // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: теория и практика : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. Р. Н. Минниханова. — Казань : ГУ “Научный центр безопасности жизнедеятельности детей”, 2012. — Ч. II. — С. 639–646.
13. Кайбичев И. А. Индекс возгораний // Безопасность критических инфраструктур и территорий : матер. V Всерос. научно-практической конференции и XV Школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, Изд-во АМБ, 2012. — С. 124–125.
14. Кайбичев И. А. Индекс возгораний в рамках подхода Доу-Джонса // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тез. докл. — М. : ВНИИПО, 2012. — Ч. 3. — С. 199–202.
15. Кайбичев И. А., Орлов С. А. Индексы пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 50–54.
16. Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А. Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 годы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 45–51.
17. Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А. Индекс площади лесных пожаров в России в 2006–2010 годах // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2013. — Вып. 2(48). — С. 1–7. URL : <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 03.07.2013 г.).
18. Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. Fire number index in rural terrain in Russian Federation for 2006–2010 years // Safety engineering in function of improvement of the working conditions: Proceedings. Ohrid, 10–12 of May, 2013, Republic of Makedonia, St. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering. — Ohrid, 2013. — P. 136–140.
19. Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А. Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации в 2010 году // Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : матер. міжнар. наук.-практ. конф., 4–5 квітня 2013 року, м. Черкаси. — Черкаси : Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, 2013. — Ч. I, секції 1–3. — С. 382–385.
20. Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А. Индекс пожарной опасности в сельской местности Российской Федерации за 2006–2011 годы // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2013. — № 2. — С. 58–62.

Материал поступил в редакцию 17 июля 2013 г.

English

INDEXES FIREMAN RISK IN RUSSIAN FEDERATION

KAIBICHEV I. A., Doctor of Mathematics and Physics Sciences,
Professor of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia
(Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail: Kaibichev@mail.ru)

KAIBICHEVA E. I., Leadinging Specialist-Expert, Federal Service
Government Statistics in Sverdlovsk District "Sverdlovskstat"
(Tolmacheva St., 23, Yekaterinburg, 620041, Russian Federation)

ABSTRACT

One of the problems of the fire statistics is an absence of indexes, showing situation with firemen risk on territory of the Russian Federation and allowing produce partition a region on groups dangerous and critical. Given problem can be solved on base of the use of the Dow Jones method. The Dow Jones Index is famous indicator of the condition of the economy and stock market. In article it is offered enter the fireman risk indexes on base of the approach Dow Jones. In scheme of the calculation of fireman risk indexes role industrial corporation is played by the subjects of Russian Federation. After ranking subjects on fireman risk value we shall select 30 regions in order of the decrease since maximum time. These regions form the listing of the calculation of the index. The fireman risk indexes are defined by averaging given on regions, trapped in the listing. The regions, in which magnitude of fireman risk higher the index values, form the crisis group. In work there are executed calculations of indexes of the fire risk and the death risk from fire for year in Russian Federation for 2002. There are highlighted regions, trapped in the listing, as well as certain regions with crisis situation. The offered indexes fireman risk can be a basis to taking management and trained decisions similarly that as Dow Jones index is used in economy and finance.

Keywords: fire statistics; Dow Jones Average; fireman risk.

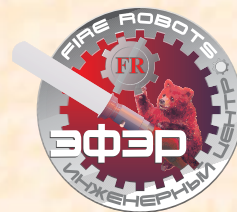
REFERENCES

1. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radaev N. N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh* [Bases of analysis and risk management of natural and technogenic spheres]. Moscow, Delovoy Ekspress Publ., 2004. 352 p.
2. Akimov V. A., Porfiryev B. N. Krizisy i risk: k voprosy vzaimosvyazi kategoriy [Crises and risks: the issue of the relationship categories]. *Problemy anasliza riska* [Problems of risk analysis]. Moscow, Delovoy Ekspress Publ., 2004, vol. 1, no. 1, pp. 38–49.
3. Brushlinskiy N. N. Snova o riskakh i upravlenii bezopasnostyu sistem [Again about risks and safety management systems]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergency Situations]. Moscow, VINITI Publ., 2002, issue 4, pp. 230–234.
4. Vladimirov V. A., Izmailkov V. I., Izmailkov A. V. Otsenka riskov i upravleniye tekhnogennoy bezopasnostyu [Risk assessment and management of technological safety]. Moscow, Delovoy Ekspress Publ., 2002. 184 p.
5. Brushlinskiy N. N., Klepko E. A. K voprosy o vichislenii riskov [To the question about the calculation of risks]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergency Situations]. Moscow, VINITI Publ., 2004, issue 1, pp. 71–73.
6. Brushlinskiy N. N. O ponyatii pozhnogo riska i svyazannykh s nim ponyatiyakh [About the concept of fire risk and related concepts]. *Pozhnaya bezopasnost — Fire Safety*, 1999, no. 3, pp. 83–85.
7. Brushlinskiy N. N., Glukhovenko Yu. M. Otsenka riskov pozharov i katastrof [Assessing the risks of fires and disasters]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergency Situations]. Moscow, VINITI Publ., 1992, issue 1, pp. 13–39.
8. Brushlinskiy N. N., Glukhovenko Yu. V., Korobko V. B., Sokolov S. V., Vagner P., Lupanov S. A., Klepko E. A. *Pozharnye riski. Vypusk 1. Osnovnyye ponyatiya* [Fire risks. Vol. 1. Basic concepts]. Moscow, National Academy of Fire Science Publ., 2004. 47 p.
9. Sullivan A., Sheffrin S. M. *Economics: Principles in action*. New Jersey, Pearson Prentice Hall Publ., 2003. 551 p.
10. Anderson B. *Economics and the Public Welfare: A financial and economic history of the United States, 1914–1946*. New York, Liberty Press, 1979. 595 p.

11. Kaibichev I. A. Analogi indeksa Dou-Dzhonsa v statistike pozharov [Analogues of the Dow Jones Fire Statistics]. *Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii: V Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, 26 oktyabrya 2011 g.* [Actual problems of safety provision in the Russian Federation. V All-Russian Scientific Conference, 26 October 2011]. Yekaterinburg, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia Publ., 2011, part 1, pp. 104–109.
12. Kaibichev I. A. Podkhod Dou-Dzhonsa v statistike pozharov [Dow Jones approach in fire statistics]. *Sovremennyye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: teoriya i praktika: mater. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern problems of personal and social safety: theory and practice. Proc. II International Scientific and Practical Conference]. Kazan, Public Office "Scientific Centre of Children's Personal and Social Safety" Publ., 2012, part II, pp. 639–646.
13. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy [Index of ignitions]. *Bezopasnost kritichnykh infrastruktur i territoriy: mater. V Vseros. konf. i XV Shkoly molodykh uchenykh* [Safety of critical infrastructures and territories. Proc. V All-Russian Science and Technology Conference and XV School of Young Scientists]. Yekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, AMB Publ., 2012, pp. 124–125.
14. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy v ramkakh podkhoda Dou-Dzhonsa [Index of ignitions in the context of Dow Jones approach]. XXIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po problemam pozharoy bezopasnosti, posvyashchennaya 75-letiyu sozdaniya instituta: tezisy dokladov [XXIV International Scientific and Practical Conference on Fire Safety, dedicated to the 75th Anniversary of the Institute. Abstracts]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012, part 3, pp. 199–202.
15. Kaibichev I. A., Orlov S. A. Indeksy pozharoy opasnosti [Fireman dangers indexes]. *Pozharovzryvo-bezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 50–54.
16. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks chisla lesnykh pozharov v Rossiyskoy Federatsii za 2006–2010 gody [Forest fires number index in Russian Federation in 2006–2010 years]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 45–51.
17. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks ploshchadi lesnykh pozharov v Rossii v 2006–2010 godakh [Area forest fires index in Russia in 2006–2010 years]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Production Engineering of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2013, issue 2(48), pp. 1–7. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb> (Accesses 3 July 2013).
18. Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. Fire number index in rural terrain in Russian Federation for 2006–2010 years. *Safety engineering in function of improvement of the working conditions. Proceedings, Ohrid, 10–12 of May, 2013, Republic of Makedonia, St. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering*. Ohrid, 2013, pp. 136–140.
19. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks chisla lesnykh pozharov v Rossiyskoy Federatsii v 2010 godu [Forest fire number index in Russian Federation in 2010 year]. *Aktualnye problemy tekhnicheskikh ta sotsialno-gumanitarnykh nauk u zabezpechenni diyalnosti sluzhbi tsivinogo zakhistu. Materiali mizhnarodnoy naukovo-praktichnoy konferentsii, 4–5 kvitnya 2013 roku, Cherkasi* [Actual problems of technical and social sciences and humanities in supporting of civil defense. Proceedings of the research-and-practice conference, 4–5 April 2013, Cherkassy]. Cherkassy, Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of Ministry of Emergencies of Ukraine Publ., 2013, part 1, sections 1–3, pp. 382–385 (in Ukrainian).
20. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks pozharoy opasnosti v selskoy mestnosti Rossiyskoy Federatsii za 2006–2011 gody [Fire hazard index in rural areas of the Russian Federation in 2006–2011 years]. *Pozhary i chrezvychnyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2013, no. 2, pp. 58–62.

ЗАО "Инженерный центр "ЭФЭР"

185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская, д. 4
Тел./факс: (8142) 77-49-31, 57-34-23
e-mail: marketing@firerobots.ru; www.firerobots.ru



ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТВОЛЬНАЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

в пожарной автоматике и пожарной охране.

II. Баллистика струй

Данная публикация продолжает цикл статей по техническим характеристикам, устройству и применению пожарных роботов и ствольной пожарной техники. В статье рассматривается баллистика струй — недостаточно исследованная область знаний, очень важная для построения систем пожаротушения в 3D на базе пожарных роботов.



Предмет и задачи баллистики. Траектория струи и факторы, ее определяющие

Баллистика — наука, изучающая движение тела в поле гравитации и воздушной среде. Основной задачей баллистики струй является решение вопроса о том, с какой начальной скоростью и под каким углом наведения должна вылететь струя, чтобы достигнуть данной точки на поверхности или в пространстве.

Ствольная пожарная техника предназначена для подачи огнетушащего вещества (ОТВ) на значительные расстояния по воздуху. Вылетев из ствола, струя движется в воздухе по инерции по траектории, приближенной к параболической. Действие сил тяжести не зависит от скорости полета тела, поэтому снижение тела в полете относительно линии вылета также будет совершаться по закону свободного падения тел, выпущенных под углом к горизонту ствола, и его траектория будет описана кривой, показанной на рис. 1.

Уравнение траектории тела, летящего под действием только одной силы тяжести g , описывается формулой

$$y = x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{g x^2}{2 V_0^2 \cos^2 \theta_0}. \quad (1)$$

При движении тела в воздухе, кроме силы тяжести, на него действует сила сопротивления воздуха, которая весьма значительна. Например, дальность полета пули при наличии силы сопротивления воздуха в 17 раз меньше, чем в безвоздушном пространстве. Сопротивление воздуха полету вызывается тремя основными причинами: вязкостью воздуха, образованием завихрения, образованием баллистической волны.

Сила сопротивления воздуха R зависит от формы тела, площади поперечного сечения тела, плотности воздуха, скорости тела и прямо пропорциональна квадрату диаметра тела d :

$$R = \frac{1000 i d^2}{g} H(y) F(v), \quad (2)$$

где $H(y)$ — функция, показывающая изменение плотности воздуха с высотой;

$F(v)$ — функция, показывающая зависимость изменения плотности воздуха от скорости.

По силе сопротивления воздуха нельзя определить главное: как быстро будет уменьшаться скорость полета данного тела. Возьмем два одинаковых

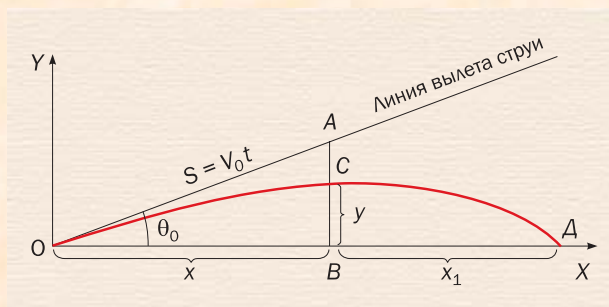


Рис. 1. Иллюстрация к задаче по выводу уравнения траектории полета тела под действием только силы тяжести

по форме тела, одно из которых пустотелое, и придадим им одинаковую скорость полета. Сила сопротивления будет одинаковой для обоих тел, так как сила сопротивления воздуха не зависит от веса тела q . Тем не менее они полетят по-разному: пустотелое тело быстро потеряет скорость и упадет, тогда как тяжелое тело будет терять скорость медленнее и пролетит достаточно большое расстояние. С точки зрения падения скорости на траектории представляет интерес не сама сила сопротивления воздуха R , а то замедление (ускорение), которое она придает движению тела. Ускорение силы сопротивления воздуха J определяется как отношение действующей силы сопротивления R к массе тела m :

$$J = R/m \text{ или } J = Rg/q. \quad (3)$$

Подставив в выражение (3) значение R и сократив его на g , получим:

$$J = \frac{1000id^2}{q} H(y) F(v). \quad (4)$$

В выражении (4) множитель $1000id^2/2$ называется баллистическим коэффициентом и обозначается C . Тогда окончательное выражение для ускорения силы сопротивления воздуха будет иметь вид:

$$J = C H(y) F(v). \quad (5)$$

Анализируя данную формулу, мы видим, что ускорение силы сопротивления воздуха зависит от величины баллистического коэффициента C , плотности воздуха и скорости тела. Влияние последних двух факторов уже рассматривалось при анализе формулы, выражающей силу сопротивления воздуха. Баллистический коэффициент объединяет влияние размеров, формы и массы тела, т. е. дает полную характеристику его полетным качествам. Из формулы (5) видно, что чем меньше баллистический коэффициент C , тем меньше ускорение силы сопротивления и тем медленнее тело теряет свою скорость.

Для решения практических задач, связанных с полетом тел, баллистика установила уравнения траектории полета тела в воздухе. Эти уравнения очень сложны и представляют собой систему нескольких уравнений. Кроме них, установлен ряд эмпирических выражений уравнения траектории полета тела в воздухе. Можно привести в пример одно из приближенных уравнений траектории полета тела в воздухе, сходное по виду с известным нам уравнением траектории в безвоздушном пространстве:

$$y = x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{g x^2}{2V_0^2 \cos^2 \theta_0} (1 + KV_0^2 X), \quad (6)$$

где K — эмпирический коэффициент, определяемый опытным путем при максимальной горизонтальной дальности X .

Добавляемый в уравнение для траектории полета тела в воздухе (6) множитель показывает большее (чем в безвоздушном пространстве) снижение

траектории снаряда под линией бросания (вылета). Следовательно, траектория имеет большую крутизну и меньшую дальность при прочих одинаковых условиях по сравнению с полетом в безвоздушном пространстве.

Физические характеристики водяных струй в свободном полете

Баллистика струй учитывает также физические факторы, присущие струям: уменьшение плотности струи и увеличение площади ее сечения по мере удаления от ствола, формирование в полете двухфазного газожидкостного потока. Соответствующие исследования показывают, что сплошная струя может быть разбита на три характерные части — *сплошную, раздробленную и распыленную* (рис. 2). В пределах сплошной части сохраняется цилиндрическая форма струи без нарушения *сплошности потока*. В пределах раздробленной части сплошность потока нарушается, причем струя постепенно расширяется. Наконец, в пределах распыленной части струи происходит окончательный распад потока на отдельные капли.

Движение водяной струи в воздушной среде определяется скоростью истечения, формой насадка, площадью живого сечения насадка и степенью турбулентности потока перед насадком. В зависимости от этих характеристик меняется характер взаимодействия струи с окружающей средой. Струя разрушается под влиянием действующих на нее силы тяжести, сопротивления воздуха и внутренних сил, вызыва-

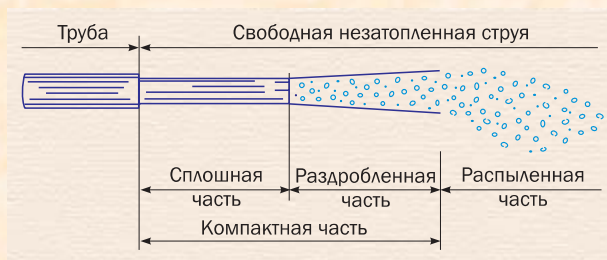


Рис. 2. Составные части свободной струи

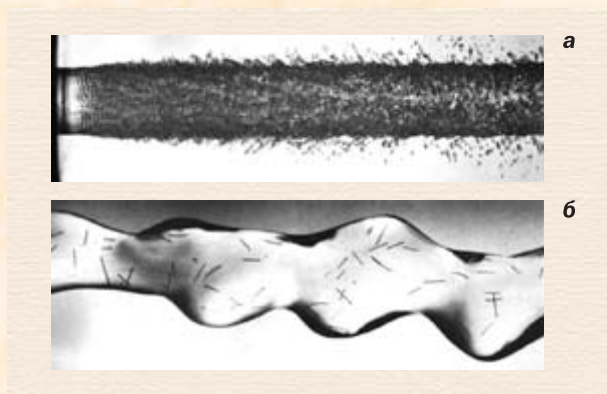


Рис. 3. Вид водяной струи: а — вытекающей в неподвижный воздух; б — перед распадом

емых турбулентностью струи и колебательно-волновым характером движения в ней жидкости. На стадии распада струи в качестве дополнительных сил, способствующих распылению струи на капли, будут выступать силы поверхностного натяжения.

На определенном расстоянии от насадка на поверхности струи образуются волны (рис. 3), амплитуды которых нарастают по длине струи, в результате чего происходит отрыв отдельных капель, а затем дробление на капли всего объема воды и далее — факельное распыление раздробленной струи. Характер распада струи, описанный выше, называют волновым.

Баллистические параметры струй и их зависимость от разных факторов

Водяные струи подразделяются на сплошные и распыленные с изменяемым углом распыления. Для оценки качества струи выделяют ее компактную часть. На компактном участке (см. рис. 2) струя не теряет своей кучности, не превращается в “дождь” капель и не разрушается при слабом ветре. Значения длины компактной части струи приводятся в справочной литературе, так как они определяют границы зон орошения при применении стволов в наружных установках пожаротушения.

Расстояние от насадка до границы крайних капель называется радиусом действия струи R_e . При начальном угле струи 30° пересечение траектории струи с линией горизонта дает максимальную дальность по крайним каплям L_m и эффективную дальность $L_{эф}$, т. е. значение дальности, соответствующее месту максимальной интенсивности подачи ОТВ. Параметр L_m позволяет дать оценку качества струи по дальности полета наиболее доступным линейным измерением, а $L_{эф}$ — реальную оценку эффективности подачи ОТВ, поэтому последний показатель используется непосредственно при составлении карт орошения на площади защищаемого объекта. Согласно данным по зарубежным аналогам ствольной техники, подтвержденным исследованиями ВНИИПО МЧС России, эффективная дальность подачи струи составляет 90 % от максимальной дальности.

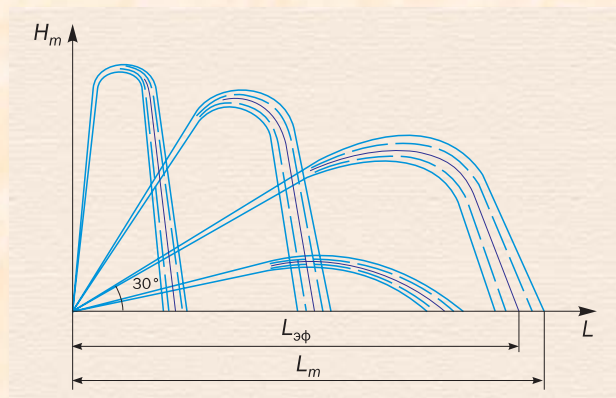


Рис. 4. Дальность струй при различных углах наклона

Высота и дальность водяных струй зависят от угла наклона ствола (рис. 4). Наибольшая высота струй достигается при вертикальном или близком к нему положении ствола. Наибольшая дальность струи, как это установлено опытным путем, получается при угле наклона ствола примерно $30\text{--}32^\circ$.

При одном и том же напоре дальность струй с ростом расхода увеличивается. С повышением напора дальность струй также увеличивается, но только до определенного предела, после которого компактность струй ухудшается.

Автоматическое наведение струи на очаг загорания

Защиту объектов больших площадей, например высокопролетных или наружных объектов, где традиционные спринклерные и дренчерные системы малоэффективны или неприемлемы совсем, рекомендуется производить с использованием пожарных роботов (далее — ПР) на базе лафетных стволов с дистанционным управлением. ПР позволяют защищать большие площади, направляя струю огнетушащего вещества по заданной программе непосредственно на очаг загорания, обнаруженный на ранней стадии развития пожара.

Одной из основных задач ПР является наведение струи на очаг загорания по заданным координатам и тушение его по заданной площади с заданной интенсивностью орошения.

Устройства обнаружения загорания ПР определяют место очага загорания в трехмерной системе координат, площадь загорания, энергетический центр загорания. Оптическая ось устройства обнаружения загорания, как правило, для упрощения конструкции и расчетов совмещается с осью наведения ствола ПР. В этом случае устройства обнаружения загорания сразу дают в полярных координатах расстояние R_n от насадка до центра очага загорания (точка А) — полярный радиус и угловые координаты в вертикальной и горизонтальной плоскостях β и γ (см. рис. 5).

Угловые координаты радиуса R_n в горизонтальной плоскости совпадают с угловыми координатами на-

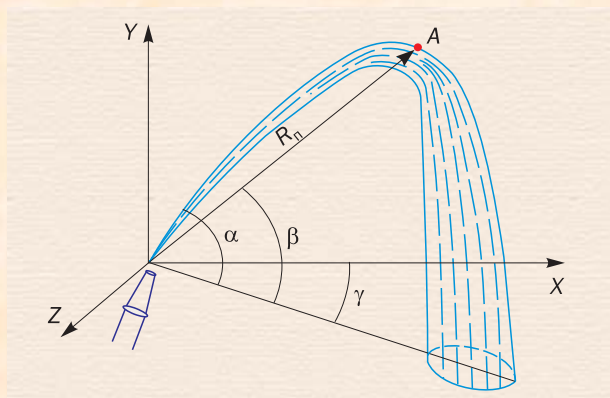


Рис. 5. Траектория струи в пространстве и ее параметры

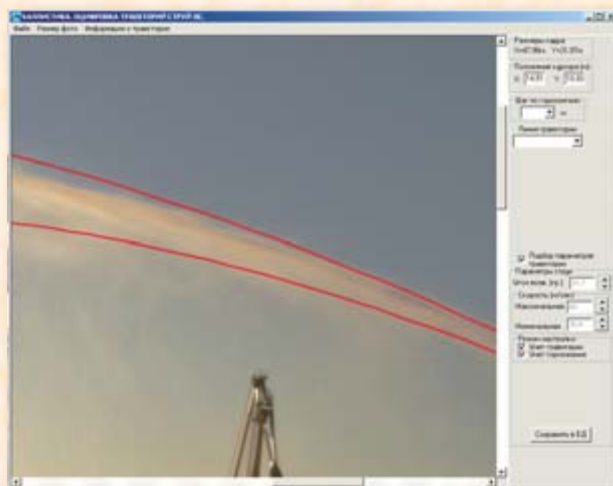


Рис. 6. Окно приложения для определения параметров траектории струи

ведения ствола и обозначаются одинаково — γ . В вертикальной плоскости угол наклона ствола α не совпадает с угловой координатой β . В начальной части траектории струи разница между углами α и β небольшая, затем она постепенно увеличивается на восходящем участке траектории, а на нисходящем участке значительно возрастает.

Значение угла α зависит от многих факторов: радиуса R_n , угла β , давления H , расхода Q , угла распыления φ , конструкции насадка.

Задача наведения струи на очаг загорания по заданным координатам сводится к определению угла наведения ствола α , при котором траектория струи должна пройти через точку встречи A . При этом надо знать параметры расчетной траектории, чтобы она с достаточной точностью совпадала с реальной траекторией струи.

Ввиду большого количества факторов, влияющих на траекторию струи, и отсутствия математического уравнения траектории струи, учитывающего все эти факторы, для определения угла наведения струи, проходящей через заданную точку, будем использовать данные по траекториям, полученные опытным путем и заложенные в память ЭВМ.

Для получения изображений траекторий струй использовали фотосъемку. Перед выполнением фотосъемки были проведены работы по выявлению линейных искажений применяемой оптики. В результате было установлено, что линейные искажения невелики.

Было разработано специальное приложение, с помощью которого можно выделить верхнюю и нижнюю

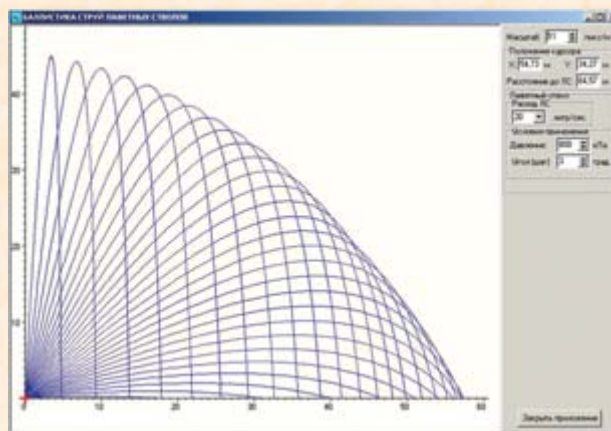


Рис. 7. Траектории прямых распыленных струй, получаемых из лафетного ствола “ЭФЭР” при давлении 0,8 МПа

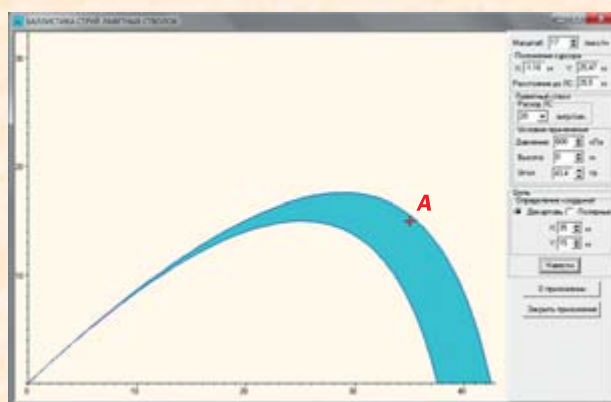


Рис. 8. Приложение для расчета траекторий струй ЛС и определения угла наведения струи к точке встречи A

границы траектории струи (рис. 6–8) и зарегистрировать координаты траекторий.

Были сделаны серии снимков работы лафетных стволов с различными расходами в зависимости от угла наклона и давления и составлена база реальных траекторий, которые затем легли в основу расчетных траекторий.

На основании этих траекторий по разработанной методике была создана программа для определения траекторий полета струи в зависимости от угла наведения струи при заданных давлении и расходе. Программой предусмотрено и решение другой задачи: по заданной точке встречи (координатам обнаруженного очага загорания) определить необходимый угол наведения ствола. Данное приложение доступно для ознакомления и использования на сайте www.fire-robots.ru.

© Ю. И. ГОРБАНЬ,

генеральный директор – главный конструктор ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, г. Петрозаводск

© Е. А. СИНЕЛЬНИКОВА,

канд. техн. наук, заместитель начальника отдела НИЦ ПиСТ ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха Московской области



I Международная выставка и конференция

НЕФТЬ И ГАЗ БОЛЬШОГО УРАЛА

9-12 сентября / Екатеринбург

Уважаемые Господа!

Рады пригласить Вашу компанию к участию

ПОЧЕМУ ЕКАТЕРИНБУРГ

Екатеринбург — столица Уральского федерального округа, который является местом сосредоточения крупнейших нефтяных и газовых месторождений, относящихся к Западносибирской нефтегазоносной провинции, в которой сконцентрировано 66,7% отечественных запасов нефти (6%-мировых) и 77,8% запасов газа (26%-мировых).

Согласно Энергетической Стратегии Министерства Энергетики РФ к «2030 году Уральский федеральный округ сохранит за собой позиции главного нефте- и газодобывающего района России, поставляющего энергоносители в энергодефицитные районы страны и на экспорт. Возрастет энергоэффективность экономики региона, будут использованы экологически безопасные и эффективные способы добычи и производства энергоресурсов в сложных природно-климатических условиях».

ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕФТЬ И ГАЗ БОЛЬШОГО УРАЛА» ЭТО:

- Профессиональная площадка, предоставляющая технические возможности для демонстрации новейших технологических решений и продукции
- Практическая диалоговая площадка для всех участников нефтегазового рынка региона, позволяющая специалистам ознакомиться с новейшим оборудованием и технологиями, обменяться актуальными мнениями и информацией
- Максимальное отражение тенденций развития нефтегазовой отрасли региона
- Насыщенная программа специализированных научно-технологических круглых столов и тематических семинаров
- **Конференция – место встречи руководителей высшего звена: представителей власти, первых руководителей добывающих компаний, руководителей компаний-поставщиков оборудования и сервисных компаний.**

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Геологоразведка
- Бурение разведочных и эксплуатационных скважин
- Добыча и переработка нефти и газа
- Нефтегазовое оборудование
- Транспортировка, хранение и сбыт нефти, нефтепродуктов и газа, другие транспортные услуги, логистика
- Геофизические услуги
- Новейшие технологии в сфере геологоразведки и добычи
- Нефтегазохимия
- Сервисное обслуживание на нефтегазовых месторождениях
- Средства промышленной и индивидуальной защиты, программное обеспечение
- Строительные работы
- Инжиниринг и консалтинг
- Экологические природоохранные услуги
- Проектное проектирование
- Трубопроводы и трубы

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ:

- Международная технологическая конференция «Нефть и Газ Большого Урала»
- Отраслевой всероссийский конкурс им. Ф.С. Прядунова на звание «Лучшего в нефти и газе РФ»
- «Ярмарка вакансий» для молодых специалистов и опытных профессионалов отрасли



Выставочный Комплекс «Екатеринбург-Экспо»

www.uoge.ru E-mail: info@uoge.ru

Тел.: (343) 381-00-25

12+

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

А. Ф. ШАРОВАРНИКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.841.123.24

ТУШЕНИЕ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ВЫСОКОКИПАЮЩИМИ ХЛАДОНАМИ

Рассмотрена модель процесса тушения горючей жидкости хладоном для выявления оптимальных условий процесса тушения. Представлено уравнение материального баланса хладоном, подаваемого на тушение горючих жидкостей. Показано, что концентрация огнетушащего состава тем быстрее достигнет огнетушащей, чем больше расход хладоном, капли которого эжектируют в зону горения воздух из окружающей среды. Проведена оптимизация процесса тушения. Показано, что минимальному удельному расходу будет соответствовать оптимальная интенсивность подачи хладоном. Приведены показатели эффективности процесса тушения горючих жидкостей.

Ключевые слова: хладоном; пожаротушение; горючая жидкость; минимальная флегматизирующая концентрация; зона горения.

Тушение пожаров проливов горючих жидкостей (ГЖ) с помощью хладонов относится к объемному способу тушения пламени, хотя интенсивность подачи огнетушащего состава рассчитывается на единицу площади горящей поверхности жидкости. Это промежуточный случай объемно-поверхностного тушения пожара.

Условием потухания пламени горючих жидкостей является создание в зоне горения соответствующей минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора (МФКФ), в нашем случае — хладоном.

С 2000 г. особое внимание было привлечено к негативному воздействию хладонов на окружающую среду. С этого момента начинается разработка альтернативных хладонов, характеризующихся более щадящим воздействием на озоновый слой Земли и не обладающих эффектом накопления в окружающей среде. К таким соединениям относятся разработанные в последние годы хладоны: перфторуглероды 227ea, FE13™, FE-36™ и FE-241™ (компания DuPont), а также Novac 1230 и PFC410 (фирма “3M”) (см. таблицу). Компания DuPont, наряду с фирмой

Cemgard, впервые осуществила синтез фторсодержащих поверхностно-активных веществ методом низкомолекулярной полимеризации (теломеризации) тетрафторэтилена.

Хладоном 227ea (другие обозначения — HFC-227ea, FM-200) — это газ без цвета, вкуса и запаха. Химическая формула — перфторпентан C_5HF_{11} . Структурная формула показана на рис. 1 [1].

В документах NFPA 2001 и ISO 14520 хладоном 227ea зарегистрирован как HFC-227ea, выпускаемый группой компаний DuPont под торговой маркой FM-200.

Огнетушащая концентрация хладоном 227ea составляет 7,2 %, предельно допустимая концентрация — 10,5 %.

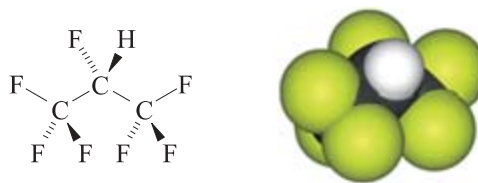


Рис. 1. Структурная формула хладоном 227ea

Параметры влияния хладонов на окружающую среду

Параметр	Novac 1230	Хладоном 1211	Хладоном 1301	Хладоном 125	Хладоном 227ea
Потенциал озоноразрушения	0	4	12	0	0
Потенциал глобального потепления	1	1890	7140	3500	3220
Время жизни в атмосфере, лет	0,014	16	65	34,2	29

Хладон Noves 1230 (компания “3М™”) иногда называют “сухой водой”. Он представляет собой бесцветную прозрачную жидкость со слабовыраженным запахом, которая не проводит электричество и тяжелее воды в 1,6 раз. Это перфторированный кетон. Noves при комнатной температуре имеет жидкую форму и хранится при низком давлении паров. Обращение с этим веществом и зарядка им систем тушения значительно проще по сравнению с другими хладонами. Noves 1230 входит в перечень веществ, разрешенных к применению на территории России под наименованием “хладон ФК-5-1-12”.

Жидкое исходное состояние Noves 1230 с температурой кипения 49 °С позволяет применять этот хладон с использованием технологии и оборудования, аналогичных применяемым для наиболее эффективного хладона 114В2, который также является жидкостью с температурой кипения 60 °С. Характеристики Noves 1230 [2] приведены ниже:

Химическая формула	 $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$
Молекулярная масса	 316,04
Температура кипения при 1 атм, °С	 49,2
Температура замерзания, °С	 -108,0
Критическая температура, °С	 168,7

Рассматривая, что происходит с хладоном, подаваемым в зону горения в виде распыленной жидкости, можно наблюдать процесс его испарения до поверхности горячей жидкости, т. е. испарение и накопление хладона происходит в объеме, заключенном в слое высотой h (рис. 2).

Вместе с продуктами горения и воздухом пары хладона частично утрачиваются за счет уноса их из зоны накопления. Если концентрация хладона в горючей смеси достигла минимального значения, то такая смесь газов будет негорючей и пожар прекратится. Минимальная флегматизирующая концентрация хладона $\varphi_{\text{МФКФ}}$ определяется эксперимен-

тально или рассчитывается для стехиометрической смеси горючих газов.

Рассмотрим модель процесса тушения горючей жидкости хладоном для выявления оптимальных условий тушения ГЖ. Для этого введем некоторые исходные положения этой модели:

- 1) горение прекращается, если в смеси паров горючего с воздухом концентрация хладона достигает минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора $\varphi = \varphi_{\text{МФКФ}}$;
- 2) хладон, поданный на тушение в виде распыленной жидкости, полностью испаряется в слое, ограниченном поверхностью горючей жидкости и видимой зоной горения;
- 3) распыленная жидкость эжектирует в зону горения воздух, что ведет к увеличению расстояния от поверхности до зоны горения, т. е. чем выше интенсивность подачи хладона, тем больше расстояние от поверхности жидкости до зоны горения;
- 4) высота зоны горения и количество эжектируемого воздуха зависят от размера капель и интенсивности подачи хладона J , что количественно может быть представлено в виде функции $h = h(J)$.

Представим уравнение материального баланса хладона, поданного на тушение пламени (см. рис. 2):

$$G \, d\tau = S_0 U_l \varphi \, d\tau + S_0 h \, d\varphi, \quad (1)$$

(подано) (потеряно) (накоплено)

где G — расход хладона, кг/с;

τ — время подачи хладона, с;

S_0 — площадь горения ГЖ, м²;

U_l — линейная скорость движения газовой смеси с хладоном, м/с;

φ — концентрация хладона, кг/м³;

h — высота зоны горения, м.

Левая часть уравнения (1) характеризует количество хладона, поданного в зону горения, правая — суммарное количество хладона, не попавшего в зону (т. е. пары хладона частично утрачены за счет уноса из зоны горения) и накопленного в зоне горения.

Введем начальные условия и решим уравнение материального баланса при $\tau = 0$; $S = 0$.

Тушение пламени произойдет в момент времени, к которому концентрация хладона в слое достигнет МФКФ, т. е. $\varphi = \varphi_{\text{МФКФ}}$ при $\tau = \tau_t$ (где τ_t — время тушения ГЖ).

Разделим переменные и проинтегрируем уравнение

$$(G - S_0 U_l \varphi) \, d\tau = S_0 h \, d\varphi; \quad (2)$$

$$\int d\tau = S_0 h \int \frac{d\varphi}{G - S_0 U_l \varphi}. \quad (3)$$



Рис. 2. Схема подачи хладона при тушении пожара горючей жидкости

Отсюда получим зависимость φ от τ :

$$\varphi = \frac{G}{S_0 U_l} \left(1 - l^{-\frac{\tau R}{U_l}} \right). \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что концентрация огнетушащего состава тем быстрее достигнет огнетушащей, чем больше расход хладона и чем ниже высота зоны горения.

Если $\varphi = \varphi_{\text{МФКФ}}$, то $\tau = \tau_t$ и получаем формулу для расчета времени тушения:

$$\tau_t = \frac{h}{U_l} \ln \left(\frac{G}{G - U_l \varphi_{\text{МФКФ}}} \right). \quad (5)$$

Обозначим через J_0 интенсивность подачи в зону горения, равную 0:

$$J_0 = U_l \varphi_{\text{МФКФ}}; \quad (6)$$

$$J = G/S_0. \quad (7)$$

В соответствии с формулой (5) при интенсивности подачи $J = J_0$ тушение может быть не достигнуто: $\tau_t \rightarrow \infty$. Условие $J = J_0$ означает, что интенсивность подачи хладона практически равна его потерям, поэтому создаются условия, называемые критическими ($J = J_0 \equiv J_{\text{кр}}$), т. е. при $J = J_{\text{кр}}$ тушения достичь не удастся.

Запишем зависимость времени тушения от интенсивности подачи хладона:

$$\tau_t = \frac{h}{U_l} \ln \left(\frac{J}{J - J_{\text{кр}}} \right). \quad (8)$$

Ранее расчет $J_{\text{кр}} \equiv J_{\text{мин}}$ проводился с учетом флегматизирующей концентрации хладона и его относительного содержания в горючей смеси по сравнению с горючим газом. Запишем относительное количество хладона K_F в нашей системе:

$$K_F = \frac{\varphi_F M_F}{\varphi_G M_G}, \quad (9)$$

где φ_F, φ_G — объемные концентрации соответственно хладона и горючего газа во флегматизированной смеси;

M_F, M_G — молекулярная масса соответственно хладона и горючего газа.

Критическую интенсивность определим по формуле

$$J_{\text{кр}} = U'_m K = U'_m \frac{\varphi_F M_F}{\varphi_G M_G}, \quad (10)$$

где U'_m — массовая скорость выгорания ГЖ, кг/(м²·с).

Следовательно, величину $J_{\text{кр}}$ можно рассчитать до проведения экспериментов, если известна удельная массовая скорость выгорания жидкости.

Упростим выражение (5), представив логарифм дроби первым членом степенного ряда, т. е. $\ln X \approx 2 \left| \frac{x-1}{x+1} \right|$:

$$\tau_t = \frac{\varphi_F h}{J - J_{\text{кр}}}. \quad (11)$$

Для графического анализа результатов эксперимента формулу (11) удобно представить в линеаризованном виде:

$$\frac{1}{\tau_t} = \frac{J}{h \varphi_F} = \frac{J_{\text{кр}}}{h \varphi_F}. \quad (12)$$

Построив график зависимости $1/\tau_t$ от J [3], экстраполируя прямой до пересечения с осью абсцисс можно получить отрезок, равный $J_{\text{кр}}$, а по наклону прямой можно оценить эффективную высоту зоны горения (рис. 3).

Высота зоны горения h (см. рис. 1) зависит от массового расхода хладона, капли которого эжектируют в зону горения воздух из окружающей среды. Чем больше расход хладона, тем выше зона горения. Представим эту зависимость линейным соотношением

$$h = h_0 + \beta J, \quad (13)$$

где h_0 — высота зоны горения до начала тушения; β — коэффициент пропорциональности, величина которого определяется эжектирующим действием капель хладона, или коэффициент эжекции, м³·с/кг.

Подставим выражение для h из формулы (13) в основное соотношение для времени тушения (11) и получим:

$$\tau_t = \frac{\varphi_F}{(J - J_{\text{кр}})(h_0 + \beta J)}. \quad (14)$$

Этой формулой следует пользоваться при $J \gg J_{\text{кр}}$.

Проведем оптимизацию процесса тушения. Оптимальным будем считать такой процесс, при котором расход на тушение G огнетушащего состава окажется минимальным. Минимальному удельному расходу будет соответствовать оптимальная интенсивность подачи хладона.

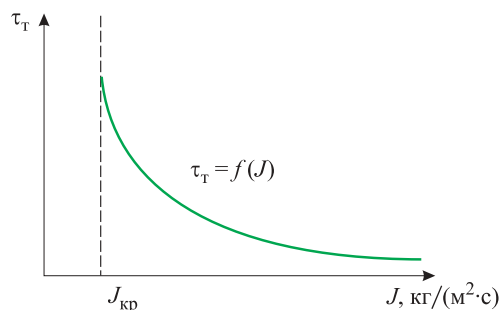


Рис. 3. Зависимость времени тушения пламени от интенсивности подачи хладона

Найдем параметр G и приравняем производную dG/dJ к нулю:

$$G = J\tau_t = \frac{J\varphi_F}{(J - J_{кр})(h_0 + \beta J)}; \quad (15)$$

$$\frac{dG}{dJ} = \frac{J\varphi_F}{(J - J_{кр})(h_0 + \beta J)} = 0. \quad (16)$$

После дифференцирования и алгебраических преобразований получим:

$$J_{опт} = 2,7 J_{кр}. \quad (17)$$

Подставив $J = J_{опт}$ в формулу (15), получим выражение для определения G_{min} :

$$(G)_{J=J_{опт}} = G_{min} = 3,7\varphi_F h_0. \quad (18)$$

Оценим количество G_{min} при тушении хладоном 114В2 гептана в розливе (диаметр зеркала $d \approx 2$ м; высота зоны горения $h_0 \approx d = 2$ м; $\varphi_F = 0,31$ кг/м³ [2]):

$$G_{min} = 3,7 \cdot 0,31 \cdot 2 = 2,3 \text{ кг/м}^2.$$

Оптимальная интенсивность подачи хладона

$$J_{опт} = 2,7U'_m \frac{\varphi_F M_F}{\varphi_r M_r}. \quad (19)$$

Зависимость удельного расхода хладона от интенсивности его подачи будет иметь минимум при $J = J_{опт}$ [3] (рис. 4).

Одним из параметров процесса тушения, характеризующим огнетушащую эффективность средства тушения, является удельный расход хладона на тушение единицы площади горящей поверхности. Если взять величину, обратную G , т. е. $1/G$, то этот показатель будет характеризовать огнетушащую способность 1 кг хладона на единицу площади поверхности:

$$\Pi_G = 1/G_{min}. \quad (20)$$

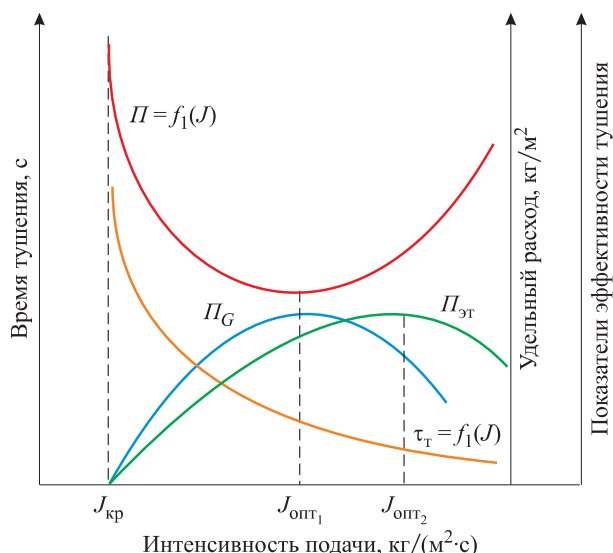


Рис. 4. Зависимость времени тушения τ_t , удельного расхода огнетушащего состава G и показателей эффективности процесса тушения Π_G и $\Pi_{эт}$ от интенсивности подачи средства тушения J

Разделив этот показатель на время тушения, получим более сложный показатель огнетушащей эффективности $\Pi_{эт}$:

$$\Pi_{эт} = \frac{1/G}{\tau} = \frac{1}{J\tau^2}. \quad (21)$$

Эти параметры могут служить количественной характеристикой эффективности процесса тушения ГЖ хладонами.

Физический смысл параметра $\Pi_{эт}$ состоит в том, что скорость тушения единицы площади горящей поверхности 1 кг огнетушащего вещества при заданной интенсивности его подачи будет максимальной. Зависимость $\Pi_{эт}$ от интенсивности проходит через максимум, что позволяет выбрать другую оптимальную величину интенсивности, при которой удельная скорость тушения будет максимальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашолкин Б. И., Мешалкин Е. А. Тушение пожаров в электроустановках. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — С. 17.
2. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — С. 119.
3. Баратов А. Н., Андрианов Р. А., Корольченко А. Я., Михайлов Д. С., Ушков В. А., Филин Л. Г. Пожарная опасность строительных материалов. — М. : Стройиздат, 1988.

Материал поступил в редакцию 20 февраля 2014 г.

English

COMBUSTIBLE LIQUIDS SUPPRESSION WITH HIGH-BOILING HALONS

KOROL'CHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

The current research considers the model of combustible liquids suppression with halon in order to detect the most appropriate conditions for fire-extinguishing process. It offers a material balance equation of halon supplied to suppress combustible liquids. It also demonstrates that the more halon is consumed and the smaller is the burning zone height, the faster fire-extinguishing composition reaches fire-extinguishing concentration. The burning zone height depends on mass consumption of halon, the drops of which eject air out from the environment into the burning zone. As a part of research, the fire-extinguishing process was optimized. There is shown that the minimal specific consumption equals optimal supply rate of halon in the article. It also provides efficiency indexes of combustible liquids suppression.

Keywords: halon; fire-extinguishing; combustible liquid; minimal phlegmatizing concentration; burning zone.

REFERENCES

1. Kasholkin B. I., Meshalkin Ye. A. *Tusheniye pozharov v elektroustanovkakh* [Fire extinguishing in electrical installations]. Moscow, Energoatomizdat, 1985, p. 17.
2. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, part I, p. 119.
3. Baratov A. N., Andrianov R. A., Korol'chenko A. Ya., Mikhaylov D. S., Ushkov V. A., Filin L. G. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire hazard of construction materials]. Moscow, Stroyizdat, 1988.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский
КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ
И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



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

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

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

Н. Н. БРУШЛИНСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, начальник Научно-исследовательского центра управления безопасностью сложных систем, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: nbrus1934@yandex.ru)

М. Х. УСМАНОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, начальник Научно-исследовательского центра по проблемам пожарной безопасности, Высшая техническая школа пожарной безопасности МВД РУз (Узбекистан, 100102, г. Ташкент, Сергелийский р-н, ул. Дустлик, 5; e-mail: m_usmanov@mail.ru)

В. Ю. ШИМКО, генеральный директор ООО "СпецПожТех" (Россия, 127051, г. Москва, Малый Сухаревский пер., 9, стр. 1; e-mail: spth@mail.ru)

В. Л. КАРПОВ, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России (Россия, Московская обл., 143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

А. Х. КУРБАНОВ, научный сотрудник Научно-исследовательского центра по проблемам пожарной безопасности, Высшая техническая школа пожарной безопасности МВД РУз (Узбекистан, 100102, г. Ташкент, Сергелийский р-н, ул. Дустлик, 5; e-mail: Azizbek.Kurbanov@gmail.com)

УДК 614.842.618

МЕТОД ЗАЩИТЫ ОТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРОВ ОПАСНЫХ ГАЗОВ И РАДИОНУКЛИДОВ

Приведены результаты использования инновационной технологии ослабления тепловых потоков, реализуемой с помощью теплозащитных экранов "Согда", в целях создания специальных ограждений объектов хранения сжиженного природного газа (СПГ), предназначенных для повышения их пожаровзрывобезопасности и обеспечения безопасного рассеивания облака тяжелых взрывоопасных газов, образующихся в результате утечки газообразующей жидкости из наземной емкости. Даны предложения по использованию теплозащитных экранов "Согда" для предотвращения распространения горячих облаков пара и газов, возникающих при авариях на АЭС.

Ключевые слова: теплозащитный экран "Согда"; водяная пленка; ослабление теплового потока; защита от распространения газов и радионуклидов; пожаровзрывобезопасность для хранения СПГ и на АЭС.

Обзор существующих способов безопасности хранения СПГ

Существенное возрастание за последнее десятилетие производства и потребления сжиженных природных газов (СПГ) и дальнейший курс на превалирование данного типа углеводородного сырья в топливно-энергетическом балансе большинства стран мира требуют разработки адекватных мер по обеспечению безопасности его хранения и использования. Только за последние годы в результате пожаров и взрывов на АЗС и в местах хранения сжиженного газа были унесены десятки жизней и в несколько раз больше людей травмированы. Основным направлением разработки новых средств и способов противопожарной защиты объектов, на которых производятся и хранятся криогенные и сжиженные горючие и токсичные газы, является борьба с загазованностью (предотвращение возможности распространения парогазового облака) при ликвидации аварий с проливами сжиженных горючих газов.

При аварийных ситуациях, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, токсичное и пожаровзрывоопасное облако, которое образуется в результате интенсивного испарения аварийно истекающего продукта (опасной жидкости), может распространяться на большие расстояния. Воспламенение такого облака часто сопровождается взрывами с разрушением технологических коммуникаций, аппаратов и резервуаров и образованием новых участков дополнительного истечения продукта, а также генерацией сверхмощных тепловых потоков, что приводит к образованию новых очагов горения. В связи с этим к способам транспортировки, хранения и использования СПГ предъявляются жесткие требования в части, касающейся защиты людей и оборудования. Одной из наиболее важных проблем, препятствующей широкому внедрению потребления СПГ, особенно на удаленных объектах, является обеспечение безопасного хранения его в малых наземных емкостях. Предложенные ранее способы

и устройства имеют ряд существенных недостатков и не нашли широкого применения [1, 2].

Новые технологии обеспечения безопасности хранения СПГ

Накопленный на сегодняшний день опыт использования экранов “Согда” в качестве активных средств защиты на пожарах [3] дал импульс для проработки вопроса о применении ограждающих конструкций на основе экранов для локальной защиты обособленных хранилищ СПГ.

Рабочий элемент ограждающей конструкции представляет собой две сетчатые поверхности, между которыми специальными форсунками распыляется вода. В штатном режиме при отсутствии аварийного истечения газа вода в систему орошения ограждающих панелей не подается. При этом панели обеспечивают видимость, свободное прохождение через них воздуха и газов, естественную вентиляцию, а значит, незначительные малые технологические утечки газа даже при длительной эксплуатации не могут привести к скоплению взрывоопасной концентрации газа внутри ограждения.

В случае аварийного истечения газа, а также при пожаре в ограждающую конструкцию автоматически подается вода, при этом в межсеточном пространстве создается капельно-воздушная среда, а на сетках образуется сплошная водяная пленка, непроницаемая для воздушных и газовых потоков. Кроме того, в случае пожара теплофизические и оптические явления, происходящие в результате взаимодействия теплового потока с сеточными поверхностями, с мелкодисперсными каплями воды в межсеточном пространстве и с водяными пленками на самих сетках, обеспечивают ослабление мощности теплового потока в 50 раз и более.

В 2010 и 2011 гг. на территории испытательного полигона Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО МЧС РФ) в Оренбургской обл. были проведены экспериментальные исследования по применению инновационной технологии для обеспечения пожаровзрывобезопасности мест хранения СПГ. Цилиндрическая емкость с СПГ диаметром 1 м и высотой 3 м устанавливалась в центре бетонного обвалования (3×3×1 м). Четыре экранирующие панели размером 3×4×0,2 м закреплялись на верхней кромке обвалования, образуя сплошное ограждение в виде прямоугольного параллелепипеда.

Аварийное истечение СПГ внутрь огражденной емкости инициировалось специальным образом. В течение 1-й минуты с момента начала истечения СПГ вода в систему водоорошения экранирующих панелей не подавалась. При этом испаряющийся газ через 3–5 с начал свободно проникать через ниж-



Рис. 1. Истечение парогазового облака



Рис. 2. Горение газа на верхнем срезе охлаждения

нюю часть сеточных панелей ограждения и свободно растекаться по поверхности земли.

На следующем этапе в момент подачи воды в систему водоорошения панелей ограждения произошла герметизация ограждения водяными пленками, образовавшимися на сеточных поверхностях. После заполнения испаряющимся газом всего ограждаемого объема парогазовое облако, как и ожидалось, стало перемещаться вертикально вверх и истекать через отверстие в верхней части конструкции, рассеиваясь в верхних слоях атмосферы (рис. 1). В дальнейшем данная конструкция была усовершенствована, что позволило повысить эффективность рассеивания парогазового облака.

При поджиге газа, испаряющегося во внутренний объем защитного ограждения, скачок давления взрыва не привел к разрушению конструкции. Водяные пленки мгновенно восстановились, сохранив все свойства ограждения. Горение газа внутри ограждения из-за отсутствия доступа кислорода извне переместилось на верхний срез ограждения (рис. 2).

Огневой эксперимент по обеспечению пожаровзрывобезопасности емкости с СПГ от воздействия внешних источников теплового излучения проводился в условиях горения пролива СПГ вокруг защитного ограждения. По показаниям датчиков теплового потока его плотность вне ограждения составила более 220 кВт/м², внутри ограждения — не более 4,8 кВт/м².

Следует отметить, что полученные уникальные результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность более широкого применения теплозащитных экранов. Например, на атомных и химических объектах такие экраны, помимо защиты от тепловых потоков, благодаря наличию водяной пленки на сеточных поверхностях позволяют задерживать и потоки радионуклидов и химических активных опасных газов. В свете последних катастрофических событий на атомных электростанциях в Японии применение различных форм ограждающих конструкций из теплозащитных экранов “Согда” становится особенно актуальным.

Выводы

Экспериментальные исследования по применению инновационной технологии защиты объектов хранения СПГ с помощью сеточных ограждений продемонстрировали следующие ее возможности:

- огороженная зона при работе в штатном режиме продувается сквозь сеточные поверхности, что предотвращает скопление газа до взрывоопасной концентрации внутри ограждения при незначительных технологических утечках;
- при аварийной утечке газа автоматически подаваемая в конструкцию вода, создавая пленку, де-

лает стенки ограждения непроницаемыми для парогазового облака, что приводит к перемещению облака только вверх и дальнейшему его рассеиванию до безопасных концентраций;

- в случае возникновения пожара вне ограждаемого объема экранирующие поверхности защищают емкость от теплового воздействия извне и предотвращают ее опасный перегрев;
- при пожаре внутри ограждения экранирующие поверхности препятствуют распространению пожара и обеспечивают самотушение внутри ограждения, исключая поступление кислорода сквозь стенки ограждения;
- при взрыве газа, испаряющегося внутри ограждения, водяные пленки разрываются и избыточное давление сбрасывается, что позволяет избежать разрушения ограждения. После уравнивания давления водяные пленки вновь образуются на сеточных поверхностях, и все свойства ограждения восстанавливаются.

В настоящее время разработанная технология защиты объектов хранения СПГ с помощью сеточных ограждений проходит стадию патентования в Узбекистане. Подана также международная заявка по процедуре договора о патентной кооперации (РСТ) с приоритетом от 28.06.2011 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 1695949А1 СССР. МПК А62 С3/00. Устройство для локализации аварий на наземных хранилищах взрывопожароопасных ядовитых жидкостей и газов / Акатьев В. А., Сафронов В. А., Соболев Г. П. — Оpubл. 07.12.91 г., Бюл. № 45.
2. Пат. 843704 Великобритания. МПК А62 С3/00. Устройство для рассеивания облака тяжелых взрывопожароопасных газов, образующихся в результате утечки из наземной емкости / Симпсон Г. Дж., Кьюд А. Л. — Оpubл. 30.06.81 г., Бюл. № 24.
3. Усманов М. Х. Влияние термического воздействия на ограждающие конструкции: новые методы экспертизы мест пожаров и теплозащиты. — Ташкент : Высшая техническая школа пожарной безопасности МВД РУз, 2008. — 291 с.

Материал поступил в редакцию 27 января 2014 г.

English

METHOD TO PREVENT THE FIRE SPREAD OF HAZARDOUS GASES AND RADIONUCLIDES

BRUSHLINSKIY N. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of Science and Research Center of Control Safety Complex Systems of State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: nbrus1934@yandex.ru)

USMANOV M. Kh., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Head of Fire Research Centre, Higher Technical School of Fire Safety of Ministry of Internal Affairs of Uzbekistan Republic (Dustlik St., 5, Sergeliyskiy District, Tashkent, 100102, Uzbekistan; e-mail address: m_usmanov@mail.ru)

SHIMKO V. Yu., General Director, OOO SpecPozhTekh (SpecPozhTekh, LLC)
(Malyy Sukharevskiy Lane, 9, off. 1, Moscow, 127051, Russian Federation;
e-mail address: spth@mail.ru)

KARPOV V. L., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher,
All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia
(VNIPO, 12, Moscow Region, Balashikha, 143903, Russian Federation;
e-mail address: vniipo@mail.ru)

KURBANOV A. Kh., Researcher, Fire Research Centre, Higher Technical
School of Fire Safety of Ministry of Internal Affair of Uzbekistan
Republic (Dustlik St., 5, Sergeliyskiy District, Tashkent, 100102, Uzbekistan;
e-mail address: Azizbek.Kurbanov@gmail.com)

ABSTRACT

The purpose of this experimental and theoretical study is to prevent fire spread in all type of fires and improve the fire and explosion safety for LNG storage as well as nuclear power plants to prevent hazardous gases and hot combustion products containing radionuclides. Thus implemented by accomplishing the application of innovative technology “Sogda” into practice. The design of a screen “Sogda” consists of two parallel metallic grids stretched over metallic frames. Active special water spray nozzles located between two parallel fixed grids creates water film on the surface of grid and water vapour droplet-air medium in the space between two parallel grids. This complex process partially attenuates the radiant heat flow from 45 to 100 or more times, representing mainly in electromagnetic waves in an IR diapason, as a result of thermo-physical effects and it is optical phenomena that prevents the passage of explosive toxic gases. The latest experimental data is given (from 2010–2012 Orenburg, Russia).

Keywords: heat-shielding screen “Sogda”; water film; attenuation of heat flux; safe dispersal of explosive gases and radionuclides; fire and explosion safety for LNG storages and nuclear power plants.

REFERENCES

1. Akatyev V. A., Safronov V. A., Sobolev G. P. *Ustroystvo dlya lokalizatsii avariyn na nazemnykh khranilishchakh vzryvopozharoопасnykh yadovitykh zhidkostey i gazov* [The device for localization of emergencies in above-ground storages of highly explosive fire hazardous toxic liquids and gases]. Patent SU, no. 1695949A1, 1991.
2. Simpson G. J., Kyud A. L. *The device for dispersion of highly explosive fire hazardous cloud of heavy gases forming as a result of leakage from above-ground tank*. Patent Great Britain, no. 843704, 1981 (Russ. ed.: Simpson G. Dzh., Kyud A. L. *Ustroystvo dlya rasseivaniya oblaka tyazhelykh vzryvopozharoопасnykh gazov, obrazuyushchikhsya v rezultate utechki iz nazemnoy yemkosti*).
3. Usmanov M. Kh. *Vliyaniye termicheskogo vozdeystviya na ograzhdayushchiye konstruksii: novyye metody ekspertizy mest pozharov i teplozashchity* [Thermal influence to protect constructions: new methods of examination of fire origin and warmprotect]. Tashkent, Higher Technical School of Fire Safety Publ., 2008. 291 p.

А. Г. ВИНОГРАДОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры процессов горения Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля (Украина, 18034, г. Черкассы-34, ул. Оноприенко, 8; e-mail: vin_ag@mail.ru)

УДК 536.3:535.34:614.838.441

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЗАТОПЛЕННЫХ СТРУЙ К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС

На основе теории затопленных струй разработана математическая модель веерной распыленной водяной струи, создаваемой щелевым дренчерным оросителем. Получены формулы для расчета основных параметров водяных завес: геометрических размеров, толщины осажденного слоя воды, пространственного распределения скоростей движения и объемных долей воды. Результаты работы направлены на усовершенствование ранее разработанной математической модели экранирования теплового излучения с помощью водяных завес.

Ключевые слова: водяная завеса; распределение воды; методика расчета; теория затопленных струй.

Введение

Одним из наиболее распространенных средств теплового экранирования при пожаре являются водяные завесы. Чаще всего, особенно в последние годы, дренчерные системы для создания водяных завес предусматриваются при проектировании и строительстве объектов с массовым присутствием людей (театры, вокзалы, гипермаркеты, производственные цеха, причалы и т. п.).

В опубликованных недавно работах [1–5] автор представил математическую модель и разработанную на ее основе расчетную методику для проектирования дренчерных установок, предназначенных для создания защитных водяных завес противопожарного назначения. С помощью данной методики можно выполнить расчет экранирующих свойств водяной завесы, в частности коэффициента пропуска теплового излучения, на основе предварительно заданных параметров. Среди них, однако, есть такие, которые отсутствуют в паспортных данных дренчерных оросителей и которые весьма сложно определить экспериментально, в частности объемная доля воды w_v (суммарный объем капель в единице объема распыленной водяной струи).

Известно, что величина этого показателя зависит от конструктивных параметров и режима работы оросителя (главным образом, от давления воды). Кроме того, объемная доля воды в распыленной водяной струе имеет весьма сложное пространственное распределение, т. е. рассматривать водяную завесу как плоскопараллельный объект с однородной структурой можно лишь в случае самого грубого приближения. Принятие такого приближения в работах [1–5] следует рассматривать лишь как первый шаг на пути создания более совершенной математической модели.

В большинстве зарубежных работ на эту тему также рассматриваются математические модели с использованием данного приближения [6–11]. Более того, автору неизвестны работы, в которых бы проблема пространственного распределения величины w_v внутри дренчерной завесы была решена расчетным путем.

Теоретическое описание движения ансамбля частиц в непрерывной среде является чрезвычайно сложной задачей, которая в большинстве случаев имеет лишь приближенные решения. Единственное точное аналитическое решение найдено для двух одинаковых сферических частиц, которые движутся вдоль линии их центров (Стимсон и Джеффри, 1926 г.) [12]. По этой причине следует отказаться от попыток выполнить расчет пространственного распределения большого количества капель распыленной воды методом расчета отдельных траекторий капель. Более перспективным представляется альтернативный путь решения этой задачи — исследование движения единой воздушно-капельной среды методами гидродинамики с использованием теории затопленных струй.

Согласно расчетным и экспериментальным данным [13, 14] при взаимодействии мелких капель с воздушной средой происходит быстрая релаксация и уравнивание скорости их движения со скоростью окружающего воздуха. Движение каждой капли влияет на состояние воздуха, создавая в нем некоторое поле скоростей и давлений. Импульс, потерянный каплей при торможении, передается окружающему воздуху, который вследствие этого приходит в движение в том же направлении, что и капля. После этого движение капель в основном соответствует законам движения воздуха, и распыленную в воздухе воду (водяной туман) в первом приближении мож-

но считать затопленной воздушной струей. Струя называется затопленной, если она движется в среде, которая имеет те же физико-механические свойства, что и сама струя.

Затопленные струи подробно исследованы и экспериментально, и теоретически [15–18]. При наличии в составе струи примеси к основному веществу (например, мелких капель воды в составе воздушной струи) можно выполнить расчет пространственного распределения примеси, используя теорию затопленных струй [15]. Главным условием применимости такого метода расчета является достаточная степень дисперсности воды (малый размер капель). Согласно прикидкам средний диаметр капель не должен превышать 0,2 мм. Это соответствует также и условию достаточной эффективности теплового экранирования с помощью водяных завес [1–5].

Постановка задачи — на основе теории затопленных струй разработать математическую модель водяной завесы, созданной линейкой дренчерных оросителей, и получить формулы для расчета параметров водяных завес (объемная доля воды, толщина осаденного слоя воды), необходимых для определения расчетным путем коэффициента пропуска тепловое излучение завесы.

Свойства затопленных струй

Упрощенная схема затопленной струи с разделением на участки, предложенная Г. Н. Абрамовичем, представлена на рис. 1. В соответствии с данной схемой начальный участок струи состоит из ядра с постоянным значением продольной скорости U_0 и пограничного слоя, в котором продольная скорость меняется от значения U_0 в ядре струи до нуля на ее внешней границе. Вдоль потока толщина пограничного слоя увеличивается, а ядро становится тоньше и в переходном сечении заканчивается. За начальным участком следует основной участок струи, ко-

торый распространяется до бесконечности. Более сложная схема затопленной струи включает еще третий участок — переходной между начальным и основным [15, 16].

Размывание струи по мере ее удаления от источника выражается не только в увеличении ее толщины, но и в изменении продольной скорости. На рис. 2 приведены кривые распределения скорости U в различных сечениях (на разных расстояниях x от источника) основного участка воздушной струи круглого сечения, вытекающей в неподвижный воздух (опыты Трюпеля) [15]. Эти экспериментальные данные свидетельствуют о непрерывной деформации скоростного профиля струи: чем дальше от начала образования струи выбрано сечение, тем “ниже” и “шире” профиль скорости.

Анализ скоростных профилей, выполненный для всех сечений основного участка струи, указывает на их аффинность, что позволяет использовать для их описания универсальную функцию. В качестве такой функции применяют, как правило, функцию Шлихтинга, полученную им для распределения скорости в турбулентном следе за обтекаемым телом [19], но применимую и для струйного пограничного слоя [15]:

$$U = U_m (1 - \bar{y}^{1,5})^2, \quad (1)$$

где U_m — осевая скорость струи;

$\bar{y}$ — безразмерное расстояние от оси; $\bar{y} = y/b$;

b — полуширина струи в данном сечении (для осесимметричной струи — ее радиус).

Теоретический анализ приводит к решению задачи о законе нарастания толщины основного участка затопленной струи в направлении ее движения:

$$b = cx, \quad (2)$$

где c — угловой коэффициент;

x — расстояние от источника струи.

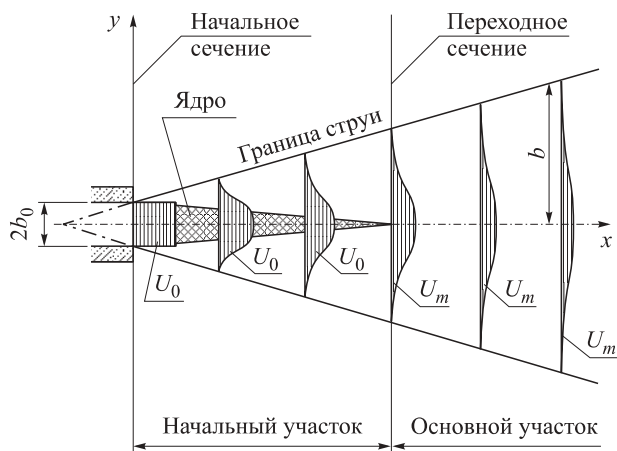


Рис. 1. Схема струи с разделением на участки: b_0 — начальная полуширина струи; U_m — осевая скорость струи

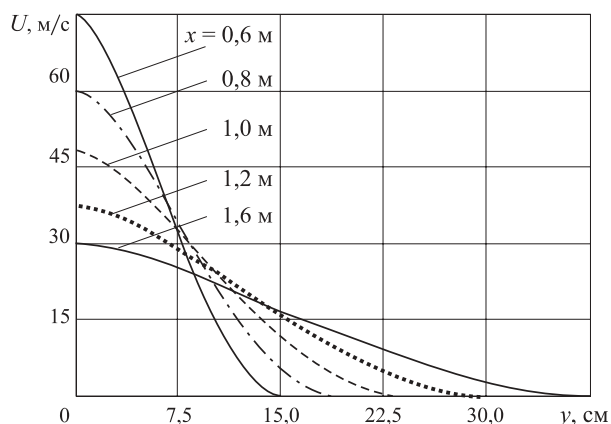


Рис. 2. Профили продольной скорости струи в зависимости от поперечной координаты x в различных сечениях основного участка струи

Таким образом, границы основного участка струи прямолинейны. Полученный линейный закон возрастания толщины струи вдоль потока пригоден для струй разной формы — плоскопараллельной, осесимметричной — и вообще для всех случаев при условии универсальности профилей скорости в затопленной струе. В [15] представлены экспериментальные данные, на основании которых для таких струй $c = 0,22$. Тогда

$$b = 0,22x. \quad (3)$$

Используя закон сохранения импульса струи, а также универсальность скоростных профилей, можно найти закон изменения осевой скорости U_m в зависимости от расстояния x [15]:

- для осесимметричной струи:

$$U_m = \frac{12,4b_0}{x} U_0; \quad (4)$$

- для плоскопараллельной струи:

$$U_m = \frac{3,8\sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} U_0, \quad (5)$$

где b_0 — начальная полуширина для плоской струи (или радиус — для осесимметричной).

Для веерной струи, которая образуется при истечении жидкости из щели шириной $2b_0$ в боковой поверхности трубы радиусом r_0 ,

$$U_m = \frac{3,8\sqrt{r_0 b_0}}{x} U_0. \quad (6)$$

При наличии в составе струи примеси к основному веществу (мелких капель воды в составе воздушной струи) можно выполнить расчет пространственного распределения примеси, используя данную теорию. Количественной характеристикой примеси распыленной струи является массовая доля воды

$$w_m = \rho_d / \rho_a, \quad (7)$$

где ρ_a — плотность воздуха;

ρ_d — плотность распыленной воды (отношение суммарной массы капель к объему воздуха), которая зависит от пространственных координат и по оси струи имеет максимальное значение w_{mm} .

Изменение состава струи влияет на численные коэффициенты в зависимостях (2)–(6), а также на характер самих зависимостей. Например, угловой коэффициент c из соотношения (2) [15] будет определяться по формуле

$$c = 0,22 \frac{\rho_a + \rho_m}{2\rho_m}, \quad (8)$$

где ρ_m — плотность воздушно-капельной смеси на оси струи;

$$\rho_m = \rho_a(1 + w_{mm}). \quad (9)$$

Вследствие того что $\rho_m > \rho_a$, угловой коэффициент, рассчитанный по (8), для распыленной водяной струи будет меньше 0,22 (воздушная струя в воздухе). Изменение плотности ρ_m вдоль струи приводит к тому, что угловой коэффициент c в данном случае уже не будет являться константой, следовательно, границы основного участка струи будут непрямолинейными.

Для гидравлического метода распыления, когда из круглого сопла вытекает сплошная струя воды, которая далее распадается на отдельные капли, в [15] найдено уравнение взаимосвязи безразмерных величин — продольной координаты $\bar{x}$ и радиуса струи $\bar{b}$:

$$0,22\bar{x} = \bar{b} + \sqrt{\frac{1}{\zeta}} \left[\ln \left(1,22\bar{b}\sqrt{\zeta} + \sqrt{1 + 1,48\bar{b}^2\zeta} \right) - 0,25 \operatorname{arctg} \left(1,28\bar{b}\sqrt{\zeta} \frac{\sqrt{1 + 1,48\bar{b}^2\zeta} - 0,24}{\sqrt{1 + 1,48\bar{b}^2\zeta} + 0,31\bar{b}^2\zeta} \right) \right], \quad (10)$$

где $\zeta = \rho_a / \rho_w$;

ρ_w — плотность воды;

$\bar{x} = x/b_0$; $\bar{b} = b/b_0$.

Зависимость скорости на оси двухфазной осесимметричной струи определяется функцией

$$U_m = U_0 \frac{2,25}{\zeta \bar{b}^2} \left(\sqrt{1 + 1,5 \zeta \bar{b}^2} - 1 \right). \quad (11)$$

Распределение концентрации примеси на оси струи можно определить с помощью формулы [15]:

$$w_{mm} = \frac{0,75 U_m}{U_0 - 0,6 U_m}. \quad (12)$$

Для поперечного профиля скоростей данной двухфазной струи остается справедливой формула Шлихтинга (1). Профиль концентрации примеси имеет следующую зависимость от поперечной безразмерной координаты $\bar{y}$:

$$w_m = w_{mm} (1 - \bar{y}^{1,5}). \quad (13)$$

К сожалению, в литературе отсутствуют расчетные формулы для веерной распыленной струи, получаемой с помощью типичных дренчерных оросителей щелевого типа, используемых для создания водяных завес. Ниже представлена математическая модель, разработанная для подобных распыленных струй, в основу которой положена теория затопленных струй.

Расчет параметров распыленной струи, получаемой из щелевого оросителя

Численное решение уравнения (10) и его анализ при значениях параметров, соответствующих воде, распыленной в воздухе, позволили найти функцию

аппроксимации зависимости $\bar{b}(\bar{x})$, позволяющую упростить расчеты:

$$\bar{b} = 0,1\bar{x} + 0,0017\bar{x}^{1,5}. \quad (14)$$

Более грубым приближением является простая линейная функция, которая достаточно близка к исходной функции (10) (в пределах $\pm 10\%$) в интервале значений $0 < \bar{x} < 1500$:

$$\bar{b} = 0,15\bar{x}. \quad (15)$$

На рис. 3 представлены графические зависимости $\bar{b}(\bar{x})$, полученные с помощью уравнений (10), (14) и (15).

Сравнивая формулы (15) и (3), можно сделать вывод, что наличие распыленной воды в составе струи привело к уменьшению значения коэффициента c из соотношения (2) с 0,22 для однородной затопленной струи до 0,15 для воды, распыленной в воздухе. Поскольку формула (3) является универсальной (пригодной для струй любого сечения), то и формула (15) должна обладать таким же свойством.

Далее рассмотрим распыленную плоскую веерную струю, создаваемую щелевыми оросителями (рис. 4). В этом случае из отверстия радиусом b_0 выходит сплошной поток воды и после отражения от дефлектора образует распыленный поток в некотором секторе с центральным углом φ_0 , который для разных типов оросителей составляет от 100 до 150° (рис. 5).

Для расчета скорости такой струи применим законы сохранения импульса и массы. С этой целью приравняем импульсы секундных потоков струи и расход воды в двух сечениях: на выходе из отверстия внутри оросителя и на произвольном расстоянии x от оросителя — и получим соответственно два уравнения:

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0^2 = 2k_r x \varphi_0 \int_0^b \rho_s U^2 dy; \quad (16)$$

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0 = 2x \varphi_0 \int_0^b \rho_d U dy, \quad (17)$$

где k_r — эффективный коэффициент, учитывающий потери импульса струи при ее отражении от дефлектора;

ρ_s — плотность воздушно-капельной смеси;

$$\rho_s = \rho_a(1 + w_m); \quad (18)$$

y — расстояние от центральной плоскости распыленной струи (см. рис. 5).

Рассмотрим более подробно природу и роль коэффициента k_r в уравнении (16). Под импульсом распыленной струи в данном случае подразумевается не векторная сумма элементарных импульсов, а сумма их модулей (интеграл в (16)). При отраже-

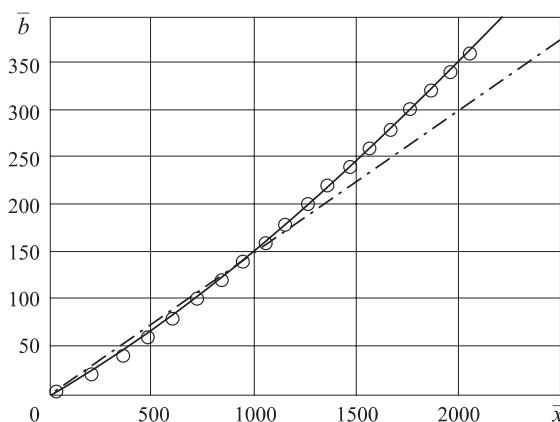


Рис. 3. Зависимости $\bar{b}(\bar{x})$ для распыленной водяной струи, рассчитанные по формулам: $\circ$ — (10); — — — (14); — · — · — (15)

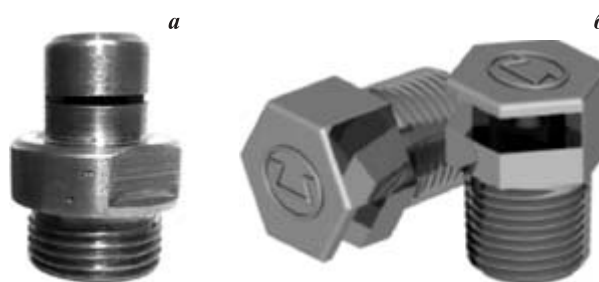


Рис. 4. Дренчерные щелевые оросители для создания водяных завес: а — ороситель Института “Спецавтоматика” (г. Луганск); б — ороситель ЗВН-8

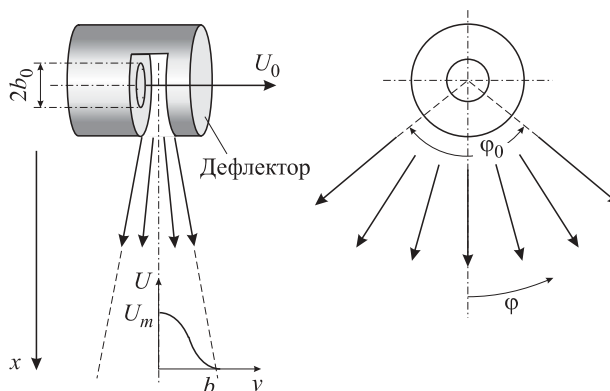


Рис. 5. Схема веерной распыленной струи

нии струи от дефлектора происходит изменение направления ее движения и распыление на капли. При этом сохраняется не импульс, а кинетическая энергия струи. После отражения и перераспределения ее по направлениям движения сохраняется общий импульс воздушно-капельного потока. Коэффициент k_r учитывает уменьшение общей кинетической энергии струи в момент ее отражения вследствие: 1) увеличения площади поверхности воды; 2) вязкого трения при взаимодействии ее с дефлектором. Оценки, выполненные для типичных режимов дренчерных оросителей, показали, что первый процесс

способен уменьшить кинетическую энергию струи на 1–5 %, а второй — на 0,05–0,1 %. Поэтому в первом приближении данными эффектами можно пренебречь и считать, что кинетическая энергия струи сохраняется и, как следствие, сохраняется полный импульс распыленной струи, т. е. $k_r = 1$.

Кроме того, в данной модели зависимость осевой скорости U_m от угла φ рассматривается в упрощенном виде, без учета ее плавного спада на краях. Угол раствора струи φ_0 — это некоторый эффективный угол, с помощью которого определяется ступенчатая функция:

$$U_m(\varphi) = \begin{cases} U_m & \text{при } |\varphi| \leq \varphi_0/2; \\ 0 & \text{при } |\varphi| > \varphi_0/2. \end{cases}$$

Для выполнения расчетов в уравнениях (16) и (17) используем формулы (1) и (13). После их подстановки в уравнения (16) и (17), полагая $k_r = 1$, а также с учетом соотношения (15) получим:

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0^2 = 0,3 \rho_a x^2 \varphi_0 U_m^2 \times \int_0^1 [1 + w_{mm} (1 - \bar{y}^{1,5})] (1 - \bar{y}^{1,5})^4 d\bar{y}; \quad (19)$$

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0 = 0,3 \rho_a w_{mm} x^2 \varphi_0 U_m \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5})^3 d\bar{y}. \quad (20)$$

Для преобразования (20) вычислим интеграл:

$$I_3 = \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5})^3 d\bar{y} = 0,368. \quad (21)$$

После расчета числовых коэффициентов найдем из (20)

$$w_{mm} = \frac{28,5 \rho_w b_0^2 U_0}{\rho_a x^2 \varphi_0 U_m}. \quad (22)$$

Раскрыв под интегралом в (19) скобки и подставив в подынтегральное выражение (22), получим:

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0^2 = 0,3 \rho_a x^2 \varphi_0 U_m^2 \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5})^4 d\bar{y} + 8,54 \rho_w b_0^2 U_0 U_m \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5})^5 d\bar{y}. \quad (23)$$

Вычислим интегралы:

$$I_4 = \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5})^4 d\bar{y} = 0,316; \quad (24)$$

$$I_5 = \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5})^5 d\bar{y} = 0,278. \quad (25)$$

После расчетов получим из (23) квадратное уравнение относительно U_m :

$$0,095 \rho_a x^2 \varphi_0 U_m^2 + 2,37 \rho_w b_0^2 U_0 U_m - \pi \rho_w b_0^2 U_0^2 = 0.$$

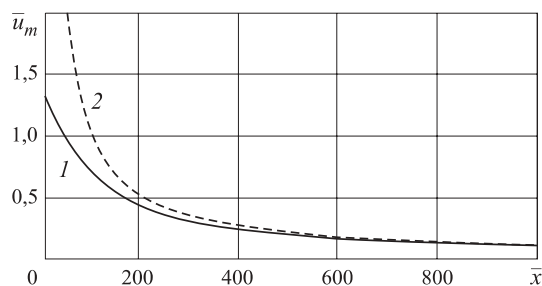


Рис. 6. Расчет зависимостей $\bar{u}_m(\bar{x})$: 1 — по формуле (28); 2 — по формуле (29)

Положительный корень данного уравнения:

$$U_m = \frac{12,5 \rho_w b_0^2 U_0}{\rho_a \varphi_0 x^2} \left(\sqrt{1 + \frac{0,21 \rho_a \varphi_0 x^2}{\rho_w b_0^2}} - 1 \right). \quad (26)$$

При условии $x > 100 b_0$ и с учетом, что $\rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $\rho_w = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\varphi_0 = (2 \div 3) \text{ рад}$, найдем, что дробный член под радикалом значительно больше единицы. Поэтому для достаточно больших x

$$U_m \approx \frac{5,7 b_0 U_0}{x} \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_a \varphi_0}}. \quad (27)$$

В безразмерном виде формулы (26) и (27) имеют следующий вид:

$$\bar{u}_m = \frac{12,5 \rho_w}{\rho_a \varphi_0 \bar{x}^2} \left(\sqrt{1 + \frac{0,21 \rho_a \varphi_0 \bar{x}^2}{\rho_w}} - 1 \right); \quad (28)$$

$$\bar{u}_m \approx \frac{5,7}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_a \varphi_0}}, \quad (29)$$

где $\bar{u}_m = U_m / U_0$.

Результат расчета графических зависимостей $\bar{u}_m(\bar{x})$ по формулам (28) и (29) для $\varphi_0 = 2,5 \text{ рад}$ представлен на рис. 6. Сравнивая зависимости, можно найти, что их разница не превышает 10 % при $\bar{x} > 200$. Это значит, что, например, при радиусе отверстия оросителя $b_0 = 3 \text{ мм}$ применять формулу расчета распыленной струи (27) можно при $x > 0,6 \text{ м}$.

Полученный при расчете по формуле (28) “нефизичный” результат $\bar{u}_m(0) > 1$ объясняется тем, что в зоне $x \rightarrow 0$ (начальный участок струи) нельзя применять соотношение (15). Кроме того, в пределах этого участка, очевидно, не действует и формула Шлихтинга (1). В связи с этим экстраполяция этих формул на начальный участок и привела к данной ошибке. Однако объектом расчетов является основной участок струи $\bar{x} > 200$, для которого полученные формулы справедливы.

Подставляя (27) в (22), получим зависимость массовой доли воды на оси струи от безразмерного расстояния $\bar{x}$:

$$w_{mm} = \frac{5}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_a \varphi_0}}. \quad (30)$$

Используя (13), получим расчетную формулу для массовой доли воды в произвольной точке распыленной струи с безразмерными координатами $\bar{x}$ и $\bar{y}$:

$$w_m = \frac{5}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w \Phi_0}} (1 - \bar{y}^{1,5}). \quad (31)$$

Во многих случаях используют не массовую, а объемную долю воды в распыленной струе w_v (суммарный объем капель в единице объема завесы). Учитывая связь между этими двумя величинами

$$w_v = w_m \frac{\rho_a}{\rho_w}, \quad (32)$$

из (31) найдем:

$$w_v = \frac{5}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w \Phi_0}} (1 - \bar{y}^{1,5}). \quad (33)$$

При использовании распыленных водяных струй в качестве водяных завес большое значение имеет проекция общего количества воды на центральную плоскость водяной завесы (плоскость $y = 0$). Это так называемая “толщина осажденного слоя” воды l_s , или толщина водяной пленки, которая образовалась бы, если бы всю воду из капель удалось равномерно распределить вдоль этой плоскости. Она равна суммарному объему капель на единицу площади распыленной струи.

Для однородного ($w_v = \text{const}$) плоского слоя распыленной воды толщиной l

$$l_s = w_v l. \quad (34)$$

Для рассмотренной выше неоднородной струи значение w_v определяется формулой (33), а толщина струи $l = 2b$. В этом случае

$$l_s = 2 \int_0^b w_v dy. \quad (35)$$

Подставляя (33) в (35), получим:

$$l_s = \frac{10}{x} b_0 \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w \Phi_0}} b \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5}) d\bar{y}.$$

Вычислим интеграл:

$$I_1 = \int_0^1 (1 - \bar{y}^{1,5}) d\bar{y} = 0,6. \quad (36)$$

С учетом (15) получим:

$$l_s = 0,9 b_0 \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w \Phi_0}}. \quad (37)$$

Таким образом, толщина осажденного слоя воды в плоской веерной струе, создаваемой щелевым оросителем (см. рис. 5), не зависит от расстояния x и на всем протяжении струи сохраняет постоянное значение, зависящее только от радиуса отверстия рас-

пылителя b_0 и угла раствора струи Φ_0 . Например, при $b_0 = 3$ мм и $\Phi_0 = 2,5$ рад получим $l_s = 59$ мкм.

Расчет параметров водяной завесы, создаваемой линейкой оросителей

Реальные водяные завесы создаются, как правило, не одним, а линейкой (иногда до нескольких десятков) дренчерных оросителей, расположенных последовательно в ряд с определенным шагом. Размеры завесы и, соответственно, количество оросителей определяются размерами защищаемого объекта или проема. Расстояние между соседними оросителями проектируется таким образом, чтобы обеспечить взаимное перекрытие создаваемых ими распыленных струй и образование сплошной водяной завесы без разрывов. В этом случае расчет водяной завесы должен учесть взаимодействие распыленных струй, созданных отдельными оросителями, в зонах их перекрытия.

На рис. 7 схематически показан фрагмент водяной завесы, образованной дренчерными оросителями Д1, Д2, Д3. Методика расчета невозмущенных зон распыленных струй была представлена выше. Следует учесть, что в реальности границы зон перекрытия, естественно, не бывают так резко выражены и не образуют настолько геометрически правильной картины, как на рис. 7.

На рис. 7 показана верхняя часть водяной завесы, для которой характерна наибольшая неоднородность ее структуры. Схематическое изображение водяной завесы в полном объеме представлено на рис. 8. В ее нижней части происходит взаимное перемешивание струй и выравнивание параметров. Вследствие этого при удалении от оросителей (в направлении x) завеса становится более однородной как по концентрации капель, так и по скоростям их движения. Таким образом, зависимость параметров струй от координаты z при увеличении x становится менее выраженной.

Представленный ниже расчет выполнен в предположении об однородной структуре нижней части водяной завесы. Скорость воздушно-капельной смеси является максимальной в центральной плос-

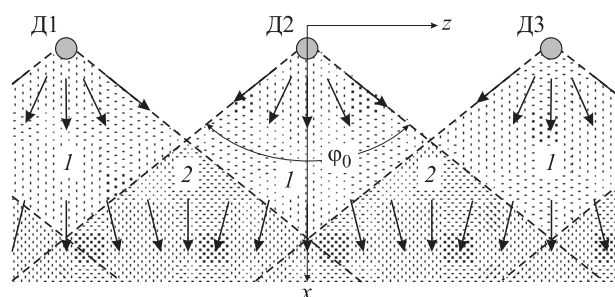


Рис. 7. Схема перекрытия распыленных струй водяной завесы: 1 — невозмущенные зоны; 2 — зоны перекрытия; → — поля скоростей

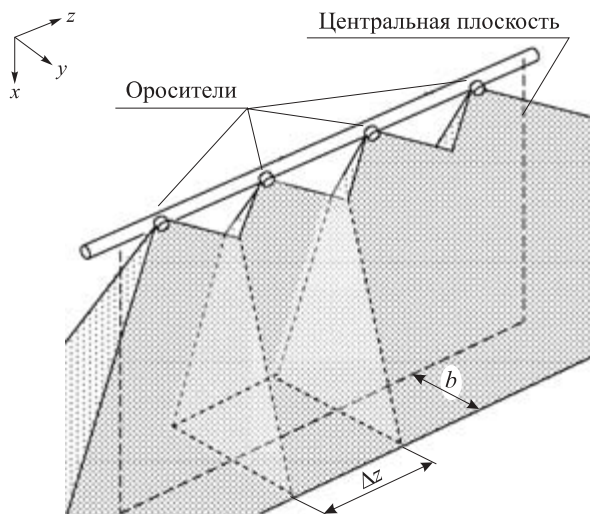


Рис. 8. Схема водяной завесы

кости завесы (вертикальная плоскость, проходящая через линейку оросителей) и монотонно уменьшается при возрастании x . Взаимное влияние струй приводит к тому, что в нижней части данной плоскости скорость направлена вертикально (в отличие от изолированной веерной струи, где скорость направлена радиально относительно оросителя).

При удалении от центральной плоскости (при изменении координаты y) скорость и массовая доля воды уменьшаются. Профили этих величин будем считать соответствующими формулам (1) и (13).

Учитывая трансляционную симметрию данной системы (периодическое повторение параметров вдоль оси z с шагом Δz , равным расстоянию между оросителями), расчет можно выполнить для элемента водяной завесы длиной Δz (см. рис. 8).

Для расчета осевой скорости и массовой доли воды применим законы сохранения импульса и массы. Чтобы составить первое уравнение, приравняем проекции на вертикальную ось суммарного импульса секундного потока струи в двух сечениях: в невозмущенной зоне (зона I на рис. 7) и на произвольном расстоянии x от оросителя в нижней однородной зоне. Учитывая радиальный характер струи в зоне I и близкий к плоскопараллельному — в нижней зоне, получим уравнение

$$\frac{\pi \rho_w b_0^2 U_0^2}{\Phi_0} \int_0^{\Phi_0/2} \cos \varphi d\varphi = \Delta z \int_0^b \rho_s U^2 dy, \quad (38)$$

где φ — угол вектора скорости элемента струи (см. рис. 5) относительно оси x (для зоны I).

На основе закона сохранения массы воды получим второе уравнение

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0 = \Delta z \int_0^b \rho_d U dy. \quad (39)$$

Далее, с учетом соотношений и обозначений (1), (13), (15), (18), (21), (24), (25), преобразуем уравнения (38) и (39) и получим:

$$\frac{\pi \rho_w b_0^2 U_0^2}{\Phi_0} \sin \frac{\Phi_0}{2} = 0,15 \rho_a \Delta z U_m^2 (I_4 + I_5 w_{mm}); \quad (40)$$

$$\pi \rho_w b_0^2 U_0 = 0,3 I_3 \rho_a \Delta z x U_m w_{mm}. \quad (41)$$

Из уравнения (41) найдем осевое значение массовой доли воды:

$$w_{mm} = \frac{\pi \rho_w b_0^2 U_0}{0,3 I_3 \rho_a \Delta z x U_m}. \quad (42)$$

После подстановки (42) в (40) и учета значений интегралов I_3 , I_4 и I_5 получим квадратное уравнение относительно U_m :

$$0,0474 \rho_a \Delta z x U_m^2 + 1,19 \rho_w b_0^2 U_0 U_m - \frac{\pi \rho_w b_0^2 U_0^2}{\Phi_0} \sin \frac{\Phi_0}{2} = 0.$$

Положительный корень данного уравнения

$$U_m = \frac{12,5 \rho_w b_0^2 U_0}{\rho_a \Delta z x} \times \left(\sqrt{1 + \frac{0,42 \rho_a \Delta z x \sin(\Phi_0/2)}{\rho_w \Phi_0 b_0^2}} - 1 \right). \quad (43)$$

В безразмерном виде формула (43) имеет следующий вид:

$$\bar{u}_m = \frac{12,5 \rho_w}{\rho_a \bar{\Delta z} \bar{x}} \times \left(\sqrt{1 + \frac{0,42 \rho_a \bar{\Delta z} \bar{x} \sin(\Phi_0/2)}{\rho_w \Phi_0}} - 1 \right), \quad (44)$$

где $\bar{\Delta z} = \Delta z / b_0$.

Подставляя (43) в (42), получим зависимость массовой доли воды в центральной плоскости водяной завесы (однородная зона) от безразмерного расстояния $\bar{x}$:

$$w_{mm} = \frac{2,28}{\sqrt{1 + \frac{0,42 \rho_a \bar{\Delta z} \bar{x} \sin(\Phi_0/2)}{\rho_w \Phi_0}} - 1}. \quad (45)$$

Пример расчета графических зависимостей $\bar{u}_m(\bar{x})$ и $w_{mm}(\bar{x})$ по формулам (44) и (45) при $\Phi_0 = 2,5$ рад и $\bar{\Delta z} = 100$ представлен на рис. 9.

Используя профиль (13), получим расчетную формулу для массовой доли воды в произвольной точке водяной завесы (однородная зона) с безразмерными координатами $\bar{x}$ и $\bar{y}$:

$$w_m = \frac{2,28}{\sqrt{1 + \frac{0,42\rho_a \Delta z \bar{x} \sin(\varphi_0/2)}{\rho_w \varphi_0}} - 1} (1 - \bar{y}^{1,5}). \quad (46)$$

Объемную долю воды в водяной завесе w_v найдем с помощью (32):

$$w_v = \frac{2,28\rho_a}{\rho_w \left(\sqrt{1 + \frac{0,42\rho_a \Delta z \bar{x} \sin(\varphi_0/2)}{\rho_w \varphi_0}} - 1 \right)} \times (1 - \bar{y}^{1,5}). \quad (47)$$

Толщину осажденного слоя водяной завесы получим с помощью формулы (35). После интегрирования ее по y с учетом (15) и (36) найдем:

$$l_s = \frac{0,41\rho_a x}{\rho_w \left(\sqrt{1 + \frac{0,42\rho_a \Delta z x \sin(\varphi_0/2)}{\rho_w \varphi_0 b_0^2}} - 1 \right)}. \quad (48)$$

Данная формула позволяет выполнить расчет важнейшей характеристики водяной завесы — толщины осажденного слоя воды l_s , от которой, как показано ниже, непосредственно зависит основной параметр, характеризующий экранирующую способность водяной завесы — коэффициент пропускания теплового излучения.

На рис. 10 представлено семейство графических зависимостей толщины осажденного слоя от x для разных величин b_0 при $\Delta z = 0,5$ м. На основании полученных графиков можно сделать вывод, что при возрастании x толщина слоя и, соответственно, эффективность теплового экранирования водяной завесы возрастают. Иначе говоря, при верхнем расположении оросителей нижняя часть дренчерной завесы имеет более высокую эффективность экранирования, чем верхняя.

Естественным является вопрос: как на толщину осажденного слоя влияет один из основных параметров любого дренчерного оросителя — объемный расход воды Q ? Его величина связана с другими параметрами соотношением

$$Q = S_{noz} U_0, \quad (49)$$

где S_{noz} — площадь сечения выходного отверстия оросителя.

Для случая круглого отверстия радиусом b_0

$$Q = \pi b_0^2 U_0. \quad (50)$$

Обращает на себя внимание тот факт, что согласно (48) толщина осажденного слоя воды не зависит от начальной скорости струи, пропорциональной расходу воды оросителя. На первый взгляд, при увеличении начальной скорости струи толщина осажденного слоя должна возрастать, однако в формуле (48) эта зависимость отсутствует. Это кажущееся про-

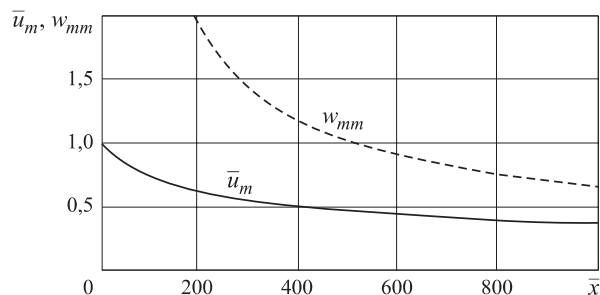


Рис. 9. Расчет зависимостей $\bar{u}_m(\bar{x})$ и $w_{mm}(\bar{x})$

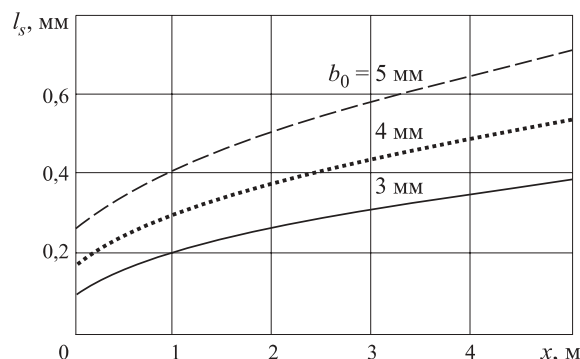


Рис. 10. Расчет зависимостей $l_s(x)$ при разных радиусах отверстия оросителя

тиворечие объясняется тем, что при увеличении начальной скорости U_0 пропорционально возрастает и скорость U_m (см. (43)), с которой большее количество воды распределяется по большей площади, поэтому толщина осажденного слоя не изменяется. Что касается расхода воды, то он зависит также от радиуса отверстия оросителя b_0 , а этот параметр, явно присутствуя в формуле (48), оказывает непосредственное влияние на величину l_s (см. рис. 10). Поэтому при возрастании b_0 повышается расход воды и одновременно увеличивается толщина осажденного слоя.

Формула (48) получена для водяной завесы, образованной с помощью щелевого оросителя (см. рис. 5), и включает два его параметра — радиус отверстия оросителя b_0 и угол раствора струи φ_0 . Для расчета водяных завес, образованных с помощью оросителей других типов, формула (48), очевидно, не подходит. Однако она может быть преобразована к такому виду, который позволит расширить область ее использования.

Полученные выше расчетные формулы являются следствием применения к водяной завесе законов сохранения импульса и массы. Эти формулы останутся справедливыми и в том случае, если геометрия оросителя будет другой, но будут выполнены условия, положенные в основу уравнений (38) и (39). Конструктивные особенности оросителя отражены в левых частях этих уравнений. В частности, в них учтена круглая форма сечения сплошного потока во-



Рис. 11. Вид оросителя для водяных завес (Спецавтоматика, г. Луганск)

ды с радиусом b_0 . Если сечение будет другой формы, то это принципиально ничего не изменит, но при этом в расчетные формулы вместо b_0 нужно будет подставить эквивалентный радиус b_{eq} , определенный из условия равенства площади сечения выходного отверстия S_{noz} :

$$S_{noz} = \pi b_{eq}^2.$$

Например, для оросителя конструкции Института “Спецавтоматика” (г. Луганск) (рис. 11), имеющего выходное отверстие в виде щели длиной l и шириной h , эквивалентный радиус можно найти из соотношения

$$b_{eq} = \sqrt{\frac{S_{noz}}{\pi}} = \sqrt{\frac{lh}{\pi}}. \quad (51)$$

Таким образом, более общей (по сравнению с (48)) является следующая расчетная формула для толщины осажденного слоя:

$$l_s = \frac{0,41\rho_a x}{\rho_w \left(\sqrt{1 + \frac{1,32\rho_a \Delta z x \sin(\varphi_0/2)}{\rho_w \varphi_0 S_{noz}}} - 1 \right)}. \quad (52)$$

Важным условием применимости полученных выше формул является форма сечения распыленной струи. Формулы получены для веерной (плоской) струи, для которой найден соответствующий коэффициент 0,15 в соотношении (15). Для струи другой формы (например, конус круглого или эллиптического сечения) этот коэффициент будет другим, вследствие чего изменятся и остальные численные коэффициенты в расчетных формулах. Для каждого подобного случая расчет параметров распыленной струи должен выполняться по аналогичной методике с учетом конструктивных особенностей оросителя.

Расчет коэффициента пропускания водяной завесы для теплового излучения

Представленная в работах [1–5] математическая модель позволяет выполнить расчет коэффициента пропускания водяной завесы H с помощью формулы

$$H = \exp \left[-1,4 (1 - \eta) \frac{w_v l}{D_{eq}} \right], \quad (53)$$

где η — средний коэффициент пропускания капли; D_{eq} — эквивалентный диаметр капель (приблизительно равный среднему диаметру Саутера).

Эта формула получена в приближении плоской водяной завесы толщиной l с однородным распределением капель по ее объему. Для такой завесы толщина осажденного слоя воды $l_s = w_v l$ (см. (34)). С учетом этого формула (53) преобразуется к виду:

$$H = \exp \left[-1,4 (1 - \eta) \frac{l_s}{D_{eq}} \right]. \quad (54)$$

Это более общий вид расчетной формулы для коэффициента пропускания, который можно использовать и в случае неоднородного распределения капель по объему водяной завесы. Правомочность перехода от (53) к (54) можно продемонстрировать с помощью следующих преобразований. Произвольную плоскую водяную завесу можно представить как ряд последовательных слоев толщиной Δy с коэффициентом пропускания ΔH :

$$\Delta H = \exp \left[-1,4 (1 - \eta) \frac{w_v \Delta y}{D_{eq}} \right].$$

Их общий коэффициент пропускания (коэффициент пропускания всей завесы) равен произведению коэффициентов пропускания слоев:

$$\begin{aligned} H &= \prod_{(i)} (\Delta H_i) = \prod_{(i)} \exp \left[-1,4 (1 - \eta) \frac{w_{vi} \Delta y}{D_{eq}} \right] = \\ &= \exp \left[-1,4 (1 - \eta) \frac{\sum_{(i)} w_{vi} \Delta y}{D_{eq}} \right]. \end{aligned}$$

В предельном переходе $\Delta y \rightarrow dy$. Учитывая толщину завесы $-b < y < b$, получим (см. (35)):

$$\sum_{(i)} w_{vi} \Delta y \rightarrow \int_{-b}^b w_v dy = 2 \int_0^b w_v dy = l_s.$$

В итоге получим формулу (54), пригодную для неоднородных завес с соответствующим значением l_s . В частности, для водяной завесы, созданной с помощью щелевых оросителей, величина l_s может быть определена расчетным путем с помощью формул (37) для одиночного оросителя и (48) или (52) — для линейки оросителей.

Выводы

На основе теории затопленных струй разработаны математическая модель и расчетная методика для определения некоторых параметров (геометрических размеров, скорости движения, объемной доли воды, толщины осажденного слоя воды) веерных распыленных водяных струй, образованных с помощью дренчерных щелевых оросителей. Найдены

расчетные формулы для одиночной веерной струи, а также для водяной завесы, созданной линейкой щелевых оросителей.

Полученные результаты направлены на усовершенствование развитой в работах [1–5] математической модели теплового экранирования с помощью водяных завес, а также на расширение ее возможностей. Найденные в работе формулы позволяют определить расчетным путем по заданным конструктивным параметрам названные выше показатели, необходимые для проектирования водяных завес. До разработки данной расчетной методики единственной возможностью определения данных величин были весьма сложные экспериментальные измерения, а также компьютерное моделирование.

Усовершенствование математической модели состоит также в том, что полученные расчетные

формулы позволяют рассматривать неоднородные по объему водяные завесы в соответствии с их реальными свойствами, тогда как в работах [1–5] рассматривалась упрощенная модель однородной водяной завесы.

Дальнейшее развитие данной математической модели будет связано с разработкой методики расчета по заданным конструктивным параметрам и режиму работы дренчерного оросителя одной из ключевых характеристик водяной завесы — эквивалентного диаметра капель D_{eq} (или среднего диаметра Саутера). Кроме того, предполагается выполнить комплекс экспериментальных исследований в целях проверки адекватности математической модели, а также определения реальных численных коэффициентов основных расчетных формул.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А. Г.* Поглощение теплового излучения водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 73–82.
2. *Виноградов А. Г.* Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 72–84.
3. *Виноградов А. Г.* Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 6. — С. 74–84.
4. *Виноградов А. Г.* Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 64–73.
5. *Виноградов А. Г.* Методика расчета экранирующих свойств водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 45–57.
6. *Ravigururajan T. S., Beltran M. R.* A model for attenuation of fire radiation through water droplets // Fire Safety J. — 1989. — Vol. 15. — P. 171–181.
7. *Coppalle A., Nedelka D., Bauer B.* Fire protection: water curtains // Fire Safety J. — 1993. — Vol. 20. — P. 241–255.
8. *Yang W., Parker T., Ladouceur H., Kee R.* The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety J. — 2004. — Vol. 39. — P. 41–66.
9. *Buchlin J.-M.* Thermal shielding by water spray curtain // J. Loss Prev. Process Industries. — 2005. — Vol. 18, No. 4–6. — P. 423–432.
10. *Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G.* On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. — 2005. — Vol. 92. — P. 85–110.
11. *Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G.* Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. — 2010. — Vol. 57. — P. 537–553.
12. *Ханпель Дж., Бреннер Г.* Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. — М.: Мир, 1976. — 631 с.
13. *Sheppard D. T.* Spray characteristic of fire sprinklers // NIST GCR 02–838, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2002. — 206 p.
14. *Виноградов А. Г.* Учет вторичных воздушных потоков при математическом моделировании распыленных водяных струй // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 2. — С. 29–33.
15. *Абрамович Г. Н.* Теория турбулентных струй (репринт). — М.: ЭКОЛИТ, 2011. — 720 с.
16. *Абрамович Г. Н.* Прикладная газовая динамика. — В 2 ч. — М.: Наука, 1991. — Ч. 1. — 600 с.
17. *Бай Ши-и.* Теория струй / Пер. с англ. — М.: Физматгиз, 1960. — 326 с.
18. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа. — М.: Наука, 1987. — 840 с.
19. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя / Пер. с англ. — М.: Наука, 1974. — 712 с.

Материал поступил в редакцию 26 декабря 2013 г.

APPLICATION OF THE SUBMERGED JET THEORY TO CALCULATION OF WATER CURTAIN PARAMETERS

VINOGRADOV A. G., Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Combustion Processes, Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Ministry of Emergencies of Ukraine (Onoprienko St., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine; e-mail address: vin_ag@mail.ru)

ABSTRACT

This work represents further development of earlier received results of mathematical simulation of water curtains used as fire protection walls. The central objective of the study is to develop calculation method of some major parameters of this mathematical model. These are such parameters: velocities of droplets moving, their concentration in space, thickness of sediment water layer. Earlier there was no such calculation procedure, and determination of these parameters was made by means of the difficult experimental measurements. In this study the submerged jet theory is applied for calculation of these parameters. Subject of the theoretical analysis is the fan sprayed water jet which flow from the slot-hole sprinkler. The formulae received in the work allow to carry out calculation of called parameters on the basis of design characteristics of drencher installation. The graphic dependences constructed on the formulae have allowed to define spatial distributions of these parameters. Application of these formulae to earlier developed mathematical model of thermal shielding has allowed to expand its opportunities for practical use. This model can be used for designing of water curtains of fire-prevention appointment, and also for definition of optimum modes of their operation.

Keywords: water curtain; distribution of water; calculation method; submerged jet theory.

REFERENCES

1. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanyimi zavesami [Thermal radiation absorption by water curtains]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 73–82.
2. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanyimi zavesami. Chast 2 [Thermal radiation absorption by water curtains. Part 2]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 72–84.
3. Vinogradov A. G. Ekranirovaniye teplovogo izlucheniya polidispersnymi vodyanyimi zavesami [Heat radiation shielding by the polydisperse water curtains]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 6, pp. 74–84.
4. Vinogradov A. G. Uchet spektralnogo sostava teplovogo izlucheniya pri raschete koeffitsienta propuskaniya kapli vody [Accounting of thermal radiation spectral distribution at calculation of water droplet transmittance]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 9, pp. 64–73.
5. Vinogradov A. G. Metodika rascheta ekraniruyushchikh svoystv vodyanykh zaves [Calculation method of water curtain shielding properties]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 45–57.
6. Ravigururajan T. S., Beltran M. R. A model for attenuation of fire radiation through water droplets. *Fire Safety Journal*, 1989, vol. 15, pp. 171–181.
7. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains. *Fire Safety Journal*, 1993, vol. 20, pp. 241–255.
8. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression. *Fire Safety Journal*, 2004, vol. 39, no. 1, pp. 41–66.
9. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain. *J. Loss Prev. Process Industries*, 2005, vol. 18, no. 4–6, pp. 423–432.
10. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2005, vol. 92, pp. 85–110.
11. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2010, vol. 57, pp. 537–553.

12. Happel J., Brenner H. *Low Reynolds number hydrodynamics*. Martinus Nijhoff Publ., The Hague, The Netherlands, 1983. 553 p. (Russ. ed.: Happel J., Brenner H. *Gidrodinamika pri malykh chislakh Reynoldsa*. Moscow, Mir Publ., 1976. 631 p.).
13. Sheppard D. T. *Spray characteristic of fire sprinklers*. NIST GCR 02-838, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2002. 206 p.
14. Vinogradov A. G. Uchet vtorichnykh vozdushnykh potokov pri matematicheskom modelirovanii raspylenykh vodyanykh struy [Consideration of secondary air streams at mathematical modeling of the sprayed water jets]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 29–33.
15. Abramovich G. N. *Teoriya turbulentnykh struy (reprint)* [The theory of turbulent jets. Reprint]. Moscow, EKOLIT Publ., 2011. 720 p.
16. Abramovich G. N. *Prikladnaya gazovaya dinamika. V 2 ch. [Applied gas dynamics. In 2 parts]*. Moscow, Nauka Publ., 1991. Part 1. 600 p.
17. Pai Shih-I. *Fluid Dynamics of Jets*. London, Published by D. Van Nostrand, 1954. 227 p. (Russ. ed.: Bay Shi-I. *Teoriya struy*. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960. 326 p.).
18. Loytsyanskiy L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 840 p.
19. Schlichting H. *Boundary Layer Theory*. New York, McGraw-Hill, 1979. 817 p. (Russ. ed.: Schlichting H. *Teoriya pogrannichnogo sloya*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 712 p.).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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

**ВОПРОС:**

В современных стандартах, действующих на территории Российской Федерации, применяются такие термины, как “оборудование для взрывоопасных сред” и “взрывозащищенное электрооборудование”.

Как следует правильно понимать данные термины при их использовании в проектно-эксплуатационной практике?

ОТВЕТ:

В ГОСТ Р МЭК 60079-0–2011 [1] и ГОСТ 30852.0–2002 [2] указаны различные термины для обозначения электрооборудования, предназначенного для работы во взрывоопасных средах.

Термин “взрывозащищенное электрооборудование”, указанный в ГОСТ [2] со ссылкой на ГОСТ 18311–80 [3], обозначает электротехническое изделие (электротехническое устройство, электрооборудование) специально назначения, которое выполнено таким образом, чтобы была устранена или затруднена возможность воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого изделия.

В то же время в ГОСТ Р МЭК [1] применяется термин “оборудование для взрывоопасных сред”, обозначающий техническое устройство (машину, аппарат, стационарную или передвижную установку; элемент систем их управления, защиты; устройство, обеспечивающее защиту; контрольно-измерительный прибор), которое предназначено для работы во взрывоопасных средах. Такое оборудование может содержать собственные потенциальные источники воспламенения окружающей взрывоопасной среды, но его конструкцией предусмотрены меры по исключению недопустимого риска воспламенения этой среды.

Оборудование, предназначенное для работы во взрывоопасных средах, принято называть *Ex*-оборудованием. Оно включает в себя электрическое и неэлектрическое оборудование. Нормативные требования к электрическому оборудованию изложены в стандартах серии ГОСТ Р МЭК 60079, а к неэлектрическому — в международных стандартах серии ISO/IEC 80079.

В Международном электротехническом словаре [4] можно обнаружить и такой термин, как “электрооборудование для взрывоопасных сред”, обозначающий электрооборудование, конструкция которого исключает возможность воспламенения окружающей взрывоопасной среды в указанных условиях.

Следует отметить, что принятое в ГОСТах [2, 3] название “взрывозащищенное оборудование” представляется некорректным. Дело в том, что многие, плохо осведомленные в области взрывозащиты люди понимают этот термин неправильно, считая, что такое оборудование (по аналогии с влаго- и пылезащищенным оборудованием, из названия которого четко следует его назначение) в случае взрыва сохранит не только свою работоспособность, но и целостность конструкции. В связи с этим специалисты в области взрывозащиты стараются из-

бегать данного названия и заменяют его термином “*Ex*-оборудование”.

Специалисты, занимающиеся выбором взрывозащищенного рудничного электрооборудования, часто называют его *взрывобезопасным*. Такое название более понятно и лучше объясняет назначение такого оборудования. Зачастую *взрывобезопасное* электрооборудование приравнивают к *Ex*-оборудованию, считая, что любое *Ex*-оборудование можно называть *взрывобезопасным*. На самом же деле *взрывобезопасное* электрооборудование является одним из видов *Ex*-оборудования, которое характеризуется надежной защищенностью и малой вероятностью стать источником воспламенения взрывоопасной среды в нормальных условиях эксплуатации или при предполагаемых неисправностях в течение времени с момента выброса газа до момента отключения питания электрической энергией [1]. В зависимости от степени взрывобезопасности такому оборудованию присваивают следующие уровни:

- оборудованию, установленному в шахтах, опасных по рудничному газу, — **Mb**;
- оборудованию, установленному во взрывоопасных газовых средах, — **Gb**;
- оборудованию, установленному во взрывоопасных пылевых средах, — **Db**.

Взрывозащита (взрывобезопасность) такого электрооборудования обеспечена как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты.

Несмотря на то что в России осуществляется добровольное применение международных стандартов, для сближения позиций между специалистами различных стран, занимающимися проектированием, выбором и применением *Ex*-оборудования, необходимо использовать современную терминологию [1, 4] в области обеспечения безопасности объектов со взрывоопасными производствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 60079-0–2011. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования. — Введ. 01.07.2012 г. — М.: Стандартинформ, 2012.
2. ГОСТ 30852.0–2002. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования. — Введ. 15.02.2014 г. — М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ 18311–80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий. — Введ. 01.01.82 г. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1982.
4. ГОСТ Р МЭК 60050-426–2011. Международный электротехнический словарь. Часть 426. Оборудование для взрывоопасных сред. — Введ. 01.10.2012 г. — М.: Стандартинформ, 2012.

Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ** (e-mail: h_a_s@live.ru)

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; комментарии к нормативно-техническим документам; справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных 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 должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными, в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Prospekt Vernadskogo, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

- содержательным (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “*The study tested*”, но не “*It was tested in this study*”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным, излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. 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.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh tekhnicheskikh sistem”* [Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniye gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources]. Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>, а также программные средства для их формирования.

3. Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

4. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черная белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приеются.

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

7. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

8. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

АКЦИЯ



УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Предлагаем Вам приобрести наши журналы за прошлые годы. Цена одного номера — 100 рублей без стоимости пересылки.

Журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ”:

- 2009 год
№ 1, 3, 4, 7–9;
- 2010 год
№ 1, 2, 4, 5, 9–12;
- 2011 год
№ 1, 10, 11;
- 2012 год
№ 2, 5–7, 9–12;
- 2013 год
№ 1–12.

Журнал “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ”:

- 2009 год
апрель, декабрь;
- 2010 год
февраль, апрель, июнь, август,
октябрь, декабрь;
- 2011 год
июнь, август, октябрь.

Адрес издательства:
121108, г. Москва,
ул. Ивана Франко,
д. 4, корп. 10.
Телефон:
+7 (495) 228-09-03

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку
на журнал “Пожаровзрывобезопасность”
на 1-е (2-е) полугодие 2014 г.

Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал

ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ



ISSN 0869-7493

КУПОН '2014

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2014 г.)	4950		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2014 г.)	5200		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при
совершении операций по реализации просим прислать также карточку
Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки
Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail:
info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

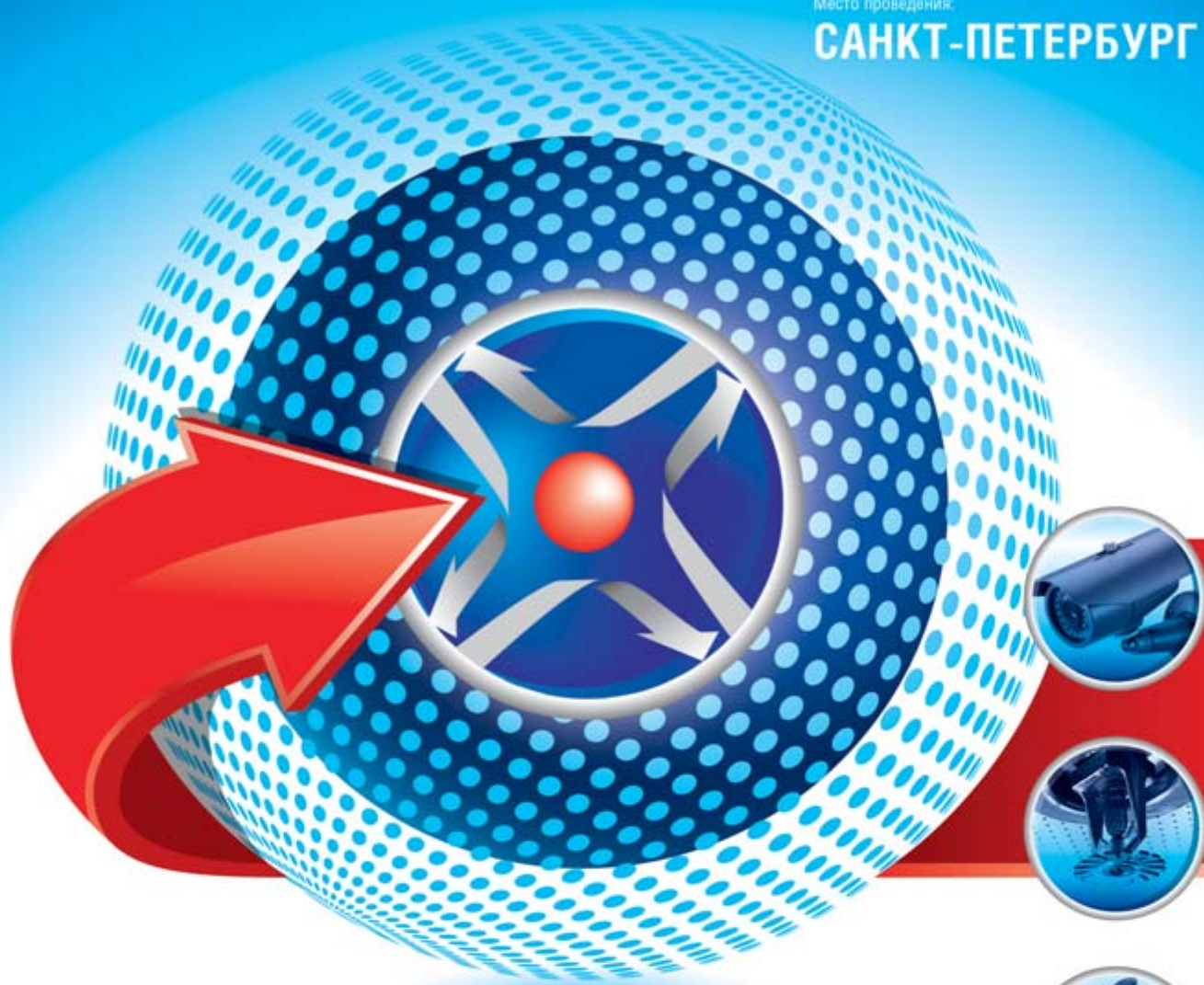
через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



11-14
НОЯБРЯ | 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



РЕКЛАМА



Sfitex

ufi
Approved
Event

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

- ⊗ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
- ⊗ **NEW!** ГАДЖЕТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC

+7 (812) 380 6009/00, security@primexpo.ru

www.sfitex.ru