

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ**  
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

**NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISKS**  
(PHYSICS-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

**№ 4 (24) – 2017**

**Редакционный совет**

**Заместитель председателя** – доктор политических наук, кандидат исторических наук, доцент **Мусиенко Тамара Викторовна**, заместитель начальника университета по научной работе.

**Заместитель председателя** (ответственный за выпуск журнала) – доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, руководитель учебно-научного комплекса – 6 «Физико-математическое, инженерное и информационное обеспечение безопасности при ЧС».

**Члены редакционного совета:**

доктор технических наук, профессор **Минкин Денис Юрьевич**, директор Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова;

доктор технических наук, профессор полковник внутренней службы **Шарапов Сергей Владимирович**, начальник Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;

кандидат юридических наук, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Грешных Антонина Адольфовна**, начальник факультета подготовки кадров высшей квалификации;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Государственной премии Российской Федерации и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Потапов Анатолий Иванович**, заведующий кафедрой «Приборы контроля и систем экологической безопасности» Северо-Западного государственного заочного технического университета;

кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Сильников Михаил Владимирович**, профессор кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности;

доктор психологических наук, профессор полковник внутренней службы **Шленков Алексей Владимирович**, начальник кафедры психологии и педагогики;

кандидат педагогических наук, доцент **Клюй Валерий Владимирович**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ.

**Секретарь совета:**

кандидат педагогических наук капитан внутренней службы **Балабанов Марк Александрович**, ответственный секретарь редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Редакционная коллегия**

**Председатель** – подполковник внутренней службы **Стёпкин Сергей Михайлович**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Заместитель председателя** – майор внутренней службы **Алексеева Людмила Викторовна**, начальник отделения – главный редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Члены редакционной коллегии:**

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Щербаков Олег Вячеславович**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Таранцев Александр Алексеевич**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ;

кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Антюхов Валерий Иванович**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления;

кандидат технических наук, доцент **Романов Николай Николаевич**, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

кандидат педагогических наук, доцент майор внутренней службы **Подружкина Татьяна Александровна**, начальник кафедры прикладной математики и информационных технологий;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Секретарь коллегии:**

капитан внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.



## СОДЕРЖАНИЕ

### **МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

Решетов А.П., Макарова О.А. К вопросу о пожарно-тактической экспертизе .....	5
Крюкова М.С., Кирпичникова А.А. Автоматизация процесса прогнозирования числа погибших при пожарах с помощью рядов Фурье .....	9
Калинина Е.С. Вопросы математического моделирования в задачах безопасности сложных технических систем .....	12

### **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Сорокин А.Ю., Иванов А.В., Симонова М.А. Обеспечение электростатической безопасности транспортировки нефтепродуктов путем реагентной модификации .....	17
Иванов А.В., Мифтахутдинова А.А., Ивахнюк Г.К. Исследование надмолекулярной структуры стабилизированных наножидкостей на основе нефтепродуктов методом рамановской спектроскопии .....	26
Гаджиев Ш.Г., Ивахнюк Г.К. Влияние электрофизической модификации на свойства и характеристики водногелевых составов при тушении пожаров на объектах транспорта .....	31

### **ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Скрипник И.Л., Воронин С.В. Модель качества разработки изделий пожарной техники .....	35
Кузьмин А.А., Романов Н.Н. Информационная поддержка теплофизических расчетов в обеспечении пожарной безопасности .....	42
Лабинский А.Ю. Использование нейронных сетей для решения задач классификации ...	48
Минкин Д.А., Константинова А.С. Расчет влияния локальных повреждений огнезащитного покрытия на предел огнестойкости металлоконструкции с использованием программного комплекса ELCUT 6.3 .....	54
Сведения об авторах .....	64
Информационная справка .....	65
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты) .....	70

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)», без письменного разрешения редакции не допускается. Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

**ББК Ц.9.3.2**  
**УДК 504+614.8(051.2)**

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: [redakziaotdel@yandex.ru](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU)

**ISSN 2307-7476**

© Санкт-Петербургский университет Государственной  
противопожарной службы МЧС России, 2017

---

---

# МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

---

---

## К ВОПРОСУ О ПОЖАРНО-ТАКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

**А.П. Решетов, кандидат технических наук, доцент;**

**О.А. Макарова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены отличия пожарно-технической и пожарно-тактической экспертиз, их взаимосвязь. Показаны цели, задачи и объект пожарно-тактической экспертизы. Обоснована необходимость придания официального статуса пожарно-тактической экспертизе.

*Ключевые слова:* пожарно-техническая экспертиза, пожарно-тактическая экспертиза, действия руководителя тушения пожара, действия личного состава подразделений пожарной охраны

## THE QUESTION OF FIRE-TACTICAL EXPERTISE

A.P. Reshetov; O.A. Makarova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The differences of fire-technical and tactical fire-fighting expertise and their relationship. Shows the goals, objectives and object of fire and tactical expertise. The necessity of giving official status to the fire and tactical expertise.

*Keywords:* fire-technical examination, fire and tactical expertise, the actions of the head of the fire fighting actions of the personnel of fire departments

В последнее время в связи с ростом благосостояния граждан, удорожания производственных ресурсов и орудий производства, несмотря на уменьшение количества пожаров, наметилась тенденция роста материального ущерба от пожаров [1]. Эти тенденции показаны на рисунке.

При расследовании преступлений, связанных с пожарами, следователь должен оценить действия руководителя тушения пожара и личного состава пожарных подразделений.

Как свидетельствует практика, иногда их действия по тушению пожара оказываются несвоевременными или неправильными, что способствует развитию пожара до крупных размеров, наступлению тяжких последствий, приводит к большим материальным потерям, что является обстоятельством, подлежащим доказыванию (п. 4 ч. 1 ст. 72 [2]).

Задачи экспертизы – разрешение возникающих «при рассмотрении дела вопросов, требующих специальных знаний» (ст. 79 [3], ст. 82 [4]), «необходимость в использовании специальных познаний» (ст. 26.4 [5]).

Оценка действий руководителя тушения пожара и личного состава пожарных подразделений при тушении пожаров и проведению аварийно-спасательных работ должна быть дана специалистом, обладающим специальными знаниями не только в области

пожарного дела, но и пожарной тактики, в рамках проведения пожарно-тактической экспертизы.



Рис. Основные показатели по пожарам за 2015–2016 гг.

Решение данного вопроса становится наиболее актуальным в связи с возможностью предъявления по уголовным делам гражданских исков на крупные суммы к лицам, виновным в создании причин и условий, повлекших большие материальные потери и иные тяжкие последствия, в том числе к органам Государственной противопожарной службы, осуществлявшим действия по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ.

К тому же в последнее время имеют место случаи обращения в суд в порядке гражданского судопроизводства руководителей крупных коммерческих организаций, пострадавших от пожаров, с иском к органам Государственной противопожарной службы, которые, по их мнению, виновны в нанесении неоправданных убытков.

Пожарно-тактическая и пожарно-техническая экспертизы имеют разные предметы исследования и для их проведения используются различные отрасли знаний. В первом случае применяются знания в области пожарной тактики (пожаротушения), во втором – пожарного дела.

По мнению некоторых экспертов, пожарно-тактическая экспертиза хотя и не получила официального статуса, может быть одним из видов инженерно-технической экспертизы, то есть она должна внедряться в практику деятельности органов предварительного расследования и получить официальный статус [6].

Однако пожарно-тактическую экспертизу нецелесообразно проводить отдельно от пожарно-технической экспертизы, так как решаемые при этом вопросы взаимосвязаны одним явлением – пожаром. Иначе говоря, следует проводить комплексную пожарно-техническую и пожарно-тактическую экспертизу, привлекая для этого специалистов в области пожарного дела и пожарной тактики.

При исследовании тактических вопросов оцениваются действия не только личного состава пожарных подразделений, но и действия руководителя тушения пожара, штаба

пожаротушения по организации, подготовке тушения и управления подразделениями в ходе тушения.

В дальнейшем анализируются и оцениваются:

- действия руководителей тушения пожара;
- оперативного штаба;
- пожарных подразделений в процессе тушения пожара;
- работа диспетчера центрального пункта пожарной связи и службы оперативного обеспечения центра управления силами и средствами в кризисных ситуациях по обработке информации о пожаре и направлении на место его возникновения сил и средств, а также другие вопросы, связанные с тушением.

Проведению пожарно-тактической экспертизы должен предшествовать сбор данных по сосредоточению и введению сил и средств:

- когда и какое подразделение было вызвано на пожар;
- когда оно прибыло к месту вызова;
- в какое время, сколько и какие приборы подачи огнетушащих веществ оно ввело на тушение или защиту (эти сведения используются при оценке возможности потушить пожар введенными силами и средствами на том или ином направлении).

Одной из основных задач, стоящих перед пожарно-тактической экспертизой, является установление правильности проведения разведки, оценки обстановки, принятых решений первым и последующими руководителями тушения пожара (то есть оценивается соответствие действий руководителя тушения пожара данной обстановке).

С этой целью устанавливается:

- правильность и своевременность выполнения распоряжений должностных лиц на пожаре подразделениями;
- своевременность вызова дополнительных сил и средств (если они вызывались);
- были ли задержки в прибытии подразделений к месту пожара и причины задержек;
- вносились ли руководителем тушения пожара коррективы в ранее принятые решения (если они вносились, то выясняется, чем были вызваны и как повлияли на дальнейший ход тушения пожара);
- была ли необходимость в передаче руководства тушением пожара (если была смена руководителя);
- объем тактических задач, поставленных руководителем, и как они были выполнены подразделениями.

Объектом для экспертного пожарно-тактического исследования являются материалы административного или уголовного дела, к которому наряду с данными, представляемыми для проведения пожарно-технической экспертизы, должны быть приобщены:

- схемы тушения пожара с указанием расстановки сил и средств тушения во времени (могут быть получены в штабе пожаротушения);
- описание пожара (составляемое в предусмотренных нормативными актами случаях), а также иные документы, отражающие результаты исследования остальных пожаров (карточка действий по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ, докладная записка и др.);
- выписка из «Журнала учета распоряжений и информации», в котором диспетчер гарнизона ФПС фиксирует сообщения руководителя тушения пожара или другого должностного лица;
- запись переговоров руководителя тушения пожара с центральным пунктом пожарной связи или службой оперативного обеспечения центра управления силами и средствами в кризисных ситуациях Государственной противопожарной службы МЧС России на любом носителе информации;
- протокол осмотра места происшествия;
- протоколы допроса свидетелей и участников тушения пожара.

Необходимость в консультациях эксперта при принятии итоговых решений в суде по административным или уголовным делам возникает не по каждому делу. Решение о таком привлечении принадлежит следователю (дознавателю).

Если производство экспертизы не является обязательным (ст. 196 [2]) и у сторон и суда нет вопросов по заключению эксперта, то эксперт может и не вызываться. Это не нарушает принципа непосредственности при оглашении данного им заключения.

Если же суд принял решение вызвать эксперта в судебное заседание, то ему должны быть предоставлены для реализации все его права, в том числе, присутствовать при судебном разбирательстве и задавать вопросы, относящиеся к предмету экспертизы.

Итак, основные задачи пожарно-тактической экспертизы:

- прогноз развития пожара до прибытия сил и средств подразделений пожарной охраны;
- оценка действий должностных лиц пожарной охраны по тушению пожаров в соответствии с действующими нормативными правовыми актами в области организации тушения, тушении пожаров, проведении связанных с ними аварийно-спасательных работ, приказами, указаниями, рекомендациями и справочниками, а также другими руководящими документами МЧС России, в том числе:
  - своевременности прибытия сил и средств;
  - правильности выбора огнетушащих веществ;
  - правильности выбора решающего направления действий по тушению пожара;
  - достаточности сил и средств, привлечённых для тушения пожара и проведения, связанных с ним аварийно-спасательных работ.

Из вышесказанного следует, что пожарно-тактическая экспертиза все шире внедряется в практику расследования последствий пожаров. В качестве примера можно привести пожар, произошедший 22 сентября 2016 г. в складских помещениях АО «Виктория», расположенных в Москве по ул. Амурской, д. 1, строение 9, по которому Следственным комитетом Российской Федерации была назначена пожарно-тактическая судебная экспертиза. Такого рода примеры доказывают необходимость придания официального статуса пожарно-тактической экспертизе.

## **Литература**

1. Статистика пожаров в России. Сайт МЧС России, раздел статистика. URL: <http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari> (дата обращения: 22.06.2017).
2. Уголовно-процессуальный Кодекс РФ с изменениями на 2017 г. URL: <http://urkodeksrf.ru> (дата обращения: 26.10.2017).
3. Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации от 14 нояб. 2002 г. № 138-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017 г.) (с изм. и доп., вступ. в силу с 10 авг. 2017 г.). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_39570](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_39570) (дата обращения: 27.10.2017).
4. Кодекс административного судопроизводства Российской Федерации от 8 марта 2015 г. № 21-ФЗ. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/70885220/paragraph/2515:0> (дата обращения: 01.11.2017).
5. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 дек. 2001 г. № 195-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017 г.) (с изм. и доп., вступ. в силу с 29 окт. 2017 г.). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34661](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661) (дата обращения: 01.11.2017).
6. Мухачев А.А. Пожарно-техническая экспертиза и ее значение в установлении причины пожара // Использование специальных знаний в судопроизводстве. Калининград: Изд-во Калининградского гос. ун-та, 2005.



# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛА ПОГИБШИХ ПРИ ПОЖАРАХ С ПОМОЩЬЮ РЯДОВ ФУРЬЕ

**М.С. Крюкова;**

**А.А. Кирпичникова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрен автоматизированный процесс прогнозирования числа погибших при пожарах. Приводится описание программно-технического решения построения динамической модели числа погибших при пожарах с помощью рядов Фурье.

*Ключевые слова:* математическая модель, прогнозирование, динамическая модель, ряд Фурье

## AUTOMATING THE PROCESS OF FORECASTING THE NUMBER OF PEOPLE KILLED IN FIRES BY USING FOURIER SERIES

M.S. Kryukova; A.A. Kirpichnikova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In article the automated process of forecasting of a death toll at the fires is considered. The description of a software and hardware solution of creation of dynamic model of a death toll at the fires by means of Fourier's ranks is provided.

*Keywords:* mathematical model, prediction, dynamic model, Fourier series

Проблемы прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера приобретают в настоящее время все большую остроту [1]. Особенно это проявляется при анализе статистической информации, описывающей состояние статистики пожаров и их последствий.

Одной из важнейших задач прогнозирования является выявление возможных альтернатив развития в перспективе для обоснованного выбора и принятия оптимального решения с позиции его последствий в прогнозируемом периоде [2]. Решение поставленной задачи может быть получено на основе системного подхода к изучаемой проблеме с использованием математического моделирования [3].

Главной особенностью рассматриваемой проблемы гибели людей при пожарах заключается в том, что связанные с ней процессы подвержены воздействию случайных факторов различной природы: экономической, политической, социальной и т.д., следовательно, информация о погибших при пожарах может носить совершенно стохастический характер.

Наиболее удачной математической моделью, используемой при исследовании динамики погибших при пожарах, является периодический динамический ряд Фурье. С помощью выбора подходящего числа гармоник такой ряд может оказаться наиболее адекватной моделью стохастического прогнозирования для рассматриваемого процесса.

Авторами разработана программа прогнозирования числа погибших при пожарах с помощью рядов Фурье. Эффективность применения гармонического подхода к динамической модели погибших при пожарах рассмотрены ранее [4].

Программа прогнозирования числа погибших при пожарах имеет доступный интерфейс, при тестировании показала хороший результат и может быть использована лицами без математического образования, что крайне важно для ее применения в населенных пунктах, где нет специализированных подразделений МЧС России.

В качестве элементов графического интерфейса в программе представлено графическое отображение исходных данных и линия прогноза.

Программная реализация информационной системы расчета количества погибших при пожарах с помощью рядов Фурье осуществляется запуском программы (рис. 1).

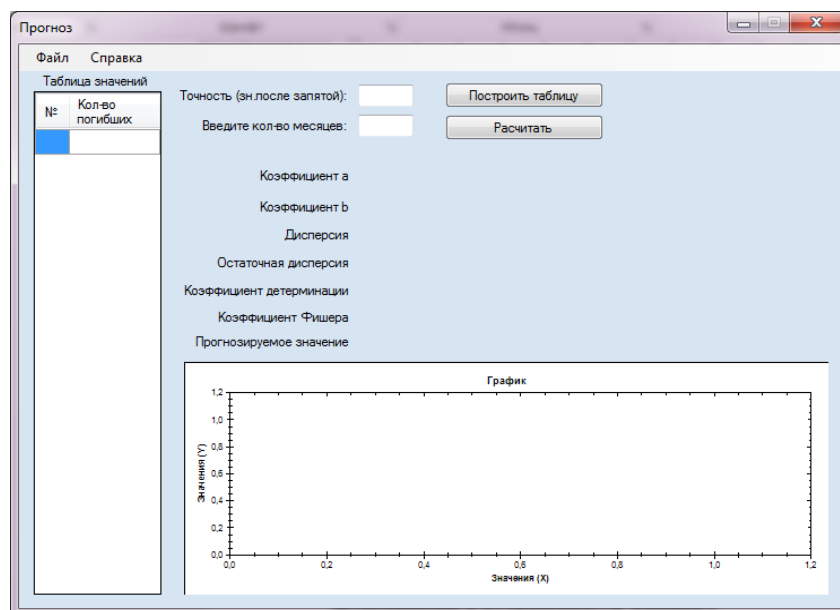


Рис. 1. Интерфейс программы

В поле «Количество месяцев» вводится число, соответствующее числу строк в таблице. Построение таблицы происходит по нажатию кнопки «Построить таблицу». Пользователю необходимо произвести ввод статистических данных – количество погибших при пожарах или загрузить их из файла (рис. 2).

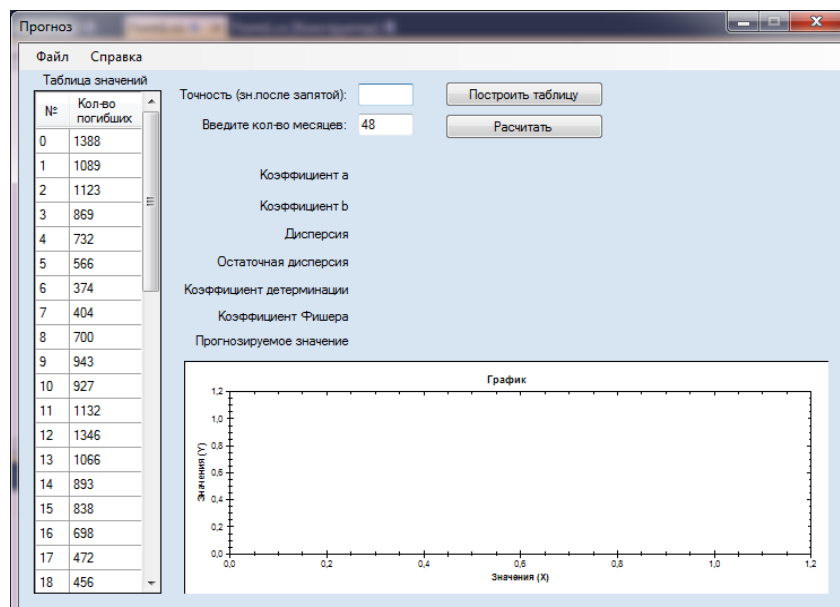


Рис. 2. Ввод исходных данных программы

Точность вычислений задается числом, определяющее количество знаков после запятой. Для получения результатов вычислений необходимо заполнить поля формы и нажать клавишу «Рассчитать». Завершения работы программы осуществляет элемент управления – «Заккрыть» (рис. 3).

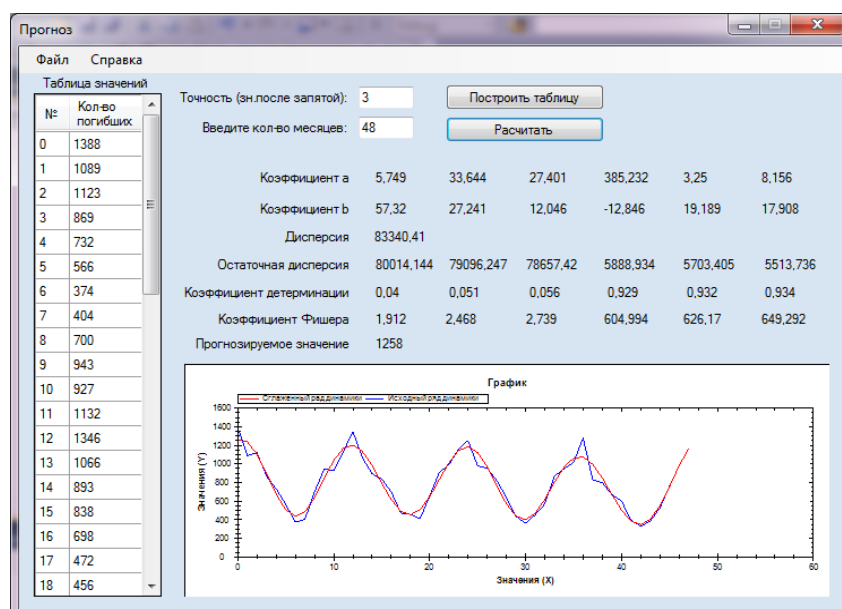


Рис. 3. Результат расчета программы

На рис. 3 отображен ввод исходных данных за период 2013–2016 гг. Страница результатов содержит параметры гармонического представления, а также показатели, необходимые для оценки модели, такие как значение  $F$ -критерия Фишера, остаточная дисперсия и коэффициент детерминации [5].

Уравнение с четырьмя гармониками достаточно хорошо описывает исходный динамический ряд, но в качестве модели прогноза рассмотрен ряд Фурье с шестью гармониками, который объясняет 93 % вариации уровней:

$$y_t = 794,79 + 5,75 \cos t + 57,32 \sin t + 33,64 \cos 2t + 27,24 \sin 2t + \\ + 27,40 \cos 3t + 12,05 \sin 3t + 385,23 \cos 4t - 12,85 \sin 4t + \\ + 3,25 \cos 5t + 19,19 \sin 5t + 8,16 \cos 6t + 17,91 \sin 6t$$

Для гармонического представления тренда значение  $F$ -статистики составило 649,29. Значение  $F$ -критерия Фишера при 1 % уровне значимости – 7,22, что с высокой степенью уверенности свидетельствует о статистической значимости коэффициента детерминации и подтверждает адекватность построенной динамической модели числа погибших при пожарах.

Полученные результаты моделирования для данного примера подтверждает применимость предложенного подхода построения трендовой модели и обеспечивает высокое качество аппроксимации данных и прогнозирования поведения социальной системы.

Прогноз на январь 2017 г. составил 1 258 человек. Сравнение прогнозируемого значения на 2017 г. с реальным значением показывает, что относительная погрешность составляет 4,8 %, что свидетельствует о достаточной эффективности описанного в статье метода.

Система мониторинга, необходимая для учета, анализа, оценки и прогноза изменения состояния природной среды на различных уровнях, позволяет принимать меры по достижению и сохранению стабильно равновесного состояния жизненной среды. Разработанная авторами программа позволит специалистам центра мониторинга и прогнозирования составить необходимые практические рекомендации по снижению числа гибели людей при пожарах на территории Российской Федерации.

## **Литература**

1. Программный комплекс по моделированию действий пожарных подразделений при тушении пожара на железнодорожном транспорте / П.В. Астахов [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. 2012. № 2. Т. 7. С. 134–140.
2. Крюкова М.С., Тарасова О.Ю., Фоминых А.А. Исследование динамики погибших при пожарах с помощью рядов Фурье // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2015. № 4 (16). С. 41–46.
3. Калинина Е.С. Возможности метода группового учета аргументов в задачах прогнозирования безопасности химических производств // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 4 (20). С. 33–38.
4. Фоминых А.А., Крюкова М.С. Эффективность гармонического подхода к динамической модели погибших при пожарах: сб. материалов LXIX Всерос. науч.-техн. конф. Ярославский гос. техн. ун-т. 2016. С. 960–964.
5. Есина М.Г. Моделирование пожарной статистики в SPSS // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 1. № 1. С. 130–133.

## **ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Е.С. Калинина, кандидат педагогических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены основные принципы математического моделирования информационных систем мониторинга сложных технических систем с целью обеспечения их безопасной эксплуатации. Для решения задач анализа и управления различными видами рисков сложных технических систем предлагается использование совокупности математических моделей в зависимости от уровня иерархии, степени декомпозиции системы, а также целей и задач исследования.

*Ключевые слова:* сложная техническая система, информационные системы мониторинга, математическое моделирование, принципы моделирования

## **THE QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELING IN TASKS OF SAFETY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS**

**E.S. Kalinina. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The basic principles of mathematical modeling of information systems for monitoring complex technical systems with the purpose of ensuring their safe operation are considered. For solving problems of analysis and management of different types of risks of complex technical systems is proposed using a combination of mathematical models depending on the level of the hierarchy, the degree of decomposition of the system, and the goals and objectives of the study.

*Keywords:* complex technical system, information systems for monitoring, mathematical modeling, principles of modeling

Во второй половине XX в. сформировался особый класс объектов техносферы – сложные технические системы (СТС), характерными особенностями которых являются

большое число составных элементов, сложная структурная и функциональная иерархия, большая энерговооруженность и значительный разрушительный потенциал [1]. Типичными примерами подобных систем служат энергосистемы, объекты нефтегазовой, угольной и химической промышленности, системы релейной защиты и автоматики, системы управления ядерными реакторами, военные системы, системы обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, средства обеспечения безопасности судоходства и др.

Несмотря на высокие стандарты обеспечения безопасности СТС, по мере увеличения их доли в техносфере, отмечается неуклонный рост числа и тяжести аварий и катастроф. Происходит качественное изменение техногенных угроз – они охватывают все сферы жизнедеятельности и их масштабы уже сравнимы с масштабами природных стихийных бедствий.

В настоящее время одним из ведущих направлений в деятельности МЧС России является обеспечение безопасности объектов на основе управления рисками [2]. Каждую сложную систему, как правило, характеризует множество различных по своей природе рисков, способных нарушить нормальный процесс функционирования этой системы, ее устойчивого, сбалансированного и безопасного развития. Управление рисками подразумевает разработку и реализацию такого комплекса мероприятий, который позволил бы снизить значения большинства рисков, присущих данному объекту защиты, до максимально возможных уровней на данном этапе развития [3].

Неотъемлемыми составными частями современных СТС являются информационные системы мониторинга (ИСМ). ИСМ предназначены для сбора и анализа параметров существенных свойств СТС, определяющих их состояние, с целью формирования оценки состояния с точки зрения возникновения различных видов рисков, прогнозирования траектории состояний и выработки управляющих воздействий для стабилизации функционирования и снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций [4].

Решение задач оценки, прогнозирования, контроля и управления различными видами рисков в значительной степени зависит от математического и алгоритмического обеспечения информационных систем мониторинга СТС. Поэтому вопросы математического моделирования в задачах безопасности сложных технических систем приобретают все более актуальный характер.

При использовании методов математического моделирования в задачах проектирования и исследования систем мониторинга СТС с целью обеспечения их безопасности возникает ряд проблем, обусловленных большой размерностью задач и необходимостью учета множества факторов, присущих сложным системам и влияющих на качество принимаемых решений.

В первую очередь необходимо разрешить основное противоречие между требованиями простоты модели и ее адекватностью исследуемой системе. Требование простоты математической модели обусловлено необходимостью построения модели, которая может быть исследована доступными методами и средствами. Требование адекватности означает соответствие модели оригиналу, характеризуемое степенью близости свойств модели и реальной системы. Попытка построить единую универсальную модель ИСМ СТС обречена на неудачу, ввиду ее необозримости и невозможности достоверных расчетов.

Математическое моделирование ИСМ, которые, в свою очередь, являются сложными системами, должно базироваться на ряде принципов, обеспечивающих корректность и достоверность результатов моделирования и, в конечном счете, качественное проектирование систем. Среди них можно выделить три основных принципа [5]:

- системного подхода;
- множественности моделей;
- иерархического многоуровневого моделирования.

Системный подход лежит в основе математического моделирования любых сложных систем и обеспечивает проектирование, направленное на построение системы с заданными свойствами и качеством. Системный подход основан на том факте, что даже если каждый

элемент или подсистема имеют оптимальные конструктивные либо функциональные характеристики, результирующее поведение системы может оказаться неадекватным вследствие влияния друг на друга отдельных ее частей [6]. Поэтому для решения задач проектирования ИСМ необходимо располагать знаниями о том, как влияют различные способы структурно-функциональной организации СТС на характеристики функционирования системы, то есть решать задачи системного анализа.

Принцип множественности моделей заключается, с одной стороны, в возможности отображения многих различных систем и процессов с помощью одной и той же модели и, с другой стороны, в возможности представления одной и той же системы множеством различных математических моделей в зависимости от целей и задач исследования. Использование этого принципа при проектировании ИСМ позволяет отказаться от подхода, когда для каждой исследуемой СТС разрабатывается своя модель, и предложить новый подход, при котором разрабатываются абстрактные математические модели разного уровня, используемые для проектирования и исследования ИСМ различных классов. При этом задача моделирования сводится к грамотной параметризации моделей и интерпретации полученных результатов [5].

Третий основополагающий принцип моделирования ИСМ, принцип иерархического многоуровневого моделирования, основан на иерархическом описании исследуемой СТС и протекающих в ней процессов. При этом система представляется совокупностью математических моделей, каждая из которых описывает поведение системы и протекающие в ней процессы с точки зрения различных уровней абстрагирования, отличающихся рядом характеристик и параметров. Количество уровней иерархии зависит от сложности проектируемой системы.

Применительно к моделям ИСМ сложных технических систем с дискретным характером функционирования выделяется два основных вида иерархии:

- по вертикали, в которой деление математических моделей по уровням осуществляется в зависимости от структурно-функциональных особенностей СТС;
- по горизонтали, в которой деление математических моделей по уровням осуществляется в зависимости от методов моделирования, целей и задач исследования [5].

В иерархии по вертикали, в общем случае, можно выделить три основных уровня моделей [5]:

- базовых моделей, содержащий простейшие математические модели, на основе которых строятся и могут быть рассчитаны другие, более сложные модели последующих уровней;
- локальных математических моделей, отображающих отдельные особенности структурно-функциональной организации СТС и позволяющих решать частные задачи анализа, оценки, прогнозирования различных видов рисков;
- глобальных математических моделей – моделей с высокой степенью детализации, наиболее полно отображающих структурные и функциональные особенности организации исследуемых СТС и являющихся основой для выработки управляющих воздействий.

Основные показатели безопасности СТС относятся к вероятностным категориям, что обуславливает необходимость применения, при проектировании и исследовании ИСМ, стохастических (вероятностных) моделей. При этом наиболее широкое применение получили аналитические, численные, имитационные и смешанные (гибридные) методы моделирования.

В иерархии по горизонтали в зависимости от методов моделирования выделяются следующие основные уровни математических моделей [5]:

- поддающиеся точному расчету, позволяющему получить результаты либо аналитически в явном виде, либо численно;
- поддающиеся приближенному аналитическому расчету с требуемой точностью, причем результаты могут быть получены либо в явном виде, либо в виде интервала;
- требующие применения статистических методов расчета;

- основанные на имитационном моделировании [7];
- использующие смешанные (гибридные) аналитико-имитационные методы расчета.

Базовые математические модели допускают применение точных аналитических и численных методов и позволяют получить результат в явном виде. Локальные математические модели обычно предполагают применение имитационных методов. Глобальные модели строятся на основе базовых и локальных моделей, и наряду с перечисленными методами моделирования могут использовать смешанные аналитико-имитационные методы [5].

Иерархия по горизонтали, в зависимости от целей и задач исследования, включает два основных уровня:

- специальных математических моделей, предназначенных для решения частных задач мониторинга конкретной СТС;
- общих математических моделей, предназначенных для решения типовых задач мониторинга.

Таким образом, на практике, при проектировании и исследовании ИСМ, наиболее эффективным является комбинированный подход к моделированию, основанный на применении на различных этапах проектирования (исследования) разных математических моделей, алгоритмов и методов. Так, например, на этапах анализа свойств системы и синтеза в соответствии с заданным критерием эффективности оптимальной системы целесообразно использовать аналитические и численные методы моделирования. Имитационное моделирование обычно используется для аттестации приближенных методов и детального анализа свойств и потенциальных возможностей спроектированной системы на моделях большой сложности, а также с целью разработки на основе полученных результатов приближенных и эвристических методов расчета [8].

Взаимодействие моделей разных уровней иерархии осуществляется путем пересчета характеристик, полученных на одном уровне, в параметры модели, используемой на другом (соседнем) уровне [5]. На каждом уровне может использоваться множество различных моделей. Состав моделей каждого уровня зависит от структурно-функциональной организации системы, целей и задач исследования. Последнее также определяет степень детализации моделей одного и того же уровня.

Реализация принципа иерархического многоуровневого моделирования базируется на структурно-функциональной декомпозиции исследуемой системы, направленной на выделение и исследование наиболее существенных аспектов структурно-функциональной организации. Структурно-функциональная декомпозиция систем позволяет на разных этапах исследования использовать модели разных уровней: на этапе функционального проектирования – базовые модели, на этапе структурного проектирования – локальные модели и на завершающем этапе структурно-функционального проектирования – глобальные модели [8].

Таким образом, математическая модель ИСМ образуется композицией математических моделей элементов и взаимодействий между ними в зависимости от уровня иерархии, степени декомпозиции системы, а также целей и задач проводимого исследования. При этом на любом уровне иерархии сложная система представляется в виде множества подсистем и образующихся между ними связей, а также совокупности протекающих процессов. В общем случае уравнения математических моделей связывают физические величины, которые характеризуют состояние объекта защиты и относятся к выходным, внутренним и внешним параметрам [5].

Рассмотренный подход к математическому моделированию обеспечивает формирование информационных систем мониторинга, позволяющих комплексно оценить различные виды рисков, достаточно точно прогнозировать возможные сценарии развития чрезвычайных ситуаций и существенно повысить безопасность СТС.

Следует отметить, что обеспечение безопасности СТС является ярко выраженной междисциплинарной проблемой, в связи с чем большое значение при организации обучения

в вузах МЧС России имеет интеграция математических, естественнонаучных, специальных дисциплин и информационных технологий. Особая роль здесь отводится математическим дисциплинам, которые позволяют формировать навыки применения математических моделей и методов при решении профессиональных задач [9].

### **Литература**

1. Лепихин А.М., Москвичев В.В., Доронин С.В. Надежность, живучесть и безопасность сложных технических систем // Вычислительные технологии. 2009. Т. 14. № 6. С. 58–70.
2. Пучков В.А. О долгосрочных перспективах развития системы МЧС России // Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10. № 1. С. 6–15.
3. Управление безопасностью сложных систем: методология, технологии, опыт / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 6. 2002. С. 22–47.
4. Щербань А.Б. Диагностика критически важных объектов на основе идентификационного структурного анализа их состояний // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1 (9). С. 77–84.
5. Алиев Т.И. Исследование сложных систем на основе комбинированного подхода // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докладов I Всерос. науч.-практ. конф. ИММОД-2003. Т. 1. СПб., 2003. С. 50–55. URL: <http://www.gpss.ru/immod%2703/009.html> (дата обращения: 30.10.2017).
6. Калинина Е.С. Применение математических методов в задачах проектирования сложных технических систем // Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2017. С. 64–69.
7. Власов Д.А., Синчуков А.В. Дидактические особенности применения пакета имитационного моделирования ITHINK в системе подготовки бакалавров экономики // Современные информационные технологии и ИТ-образование: сб. науч. трудов. Моск. гос. ун-та им. М.В. Ломоносова. 2015. С. 295–299.
8. Алиев Т.И. Задачи и методы проектирования дискретных систем: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. нац. исслед. ун-т информ. технол., механики и оптики, 2015. 127 с.
9. Власов Д.А., Синчуков А.В. Новое содержание прикладной математической подготовки бакалавра // Преподаватель XXI век. 2013. Т. 1. № 1. С. 71–79.





---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПУТЕМ РЕАГЕНТНОЙ МОДИФИКАЦИИ

**А.Ю. Сорокин;**

**А.В. Иванов, кандидат технических наук;**

**М.А. Симонова, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены результаты исследований физических и электрофизических свойств модифицированных углеводородных жидкостей, влияющих на возможность образования заряда статического электричества и образование пожарной опасности транспортировки нефтепродуктов. Модификация заключалась в диспергировании в жидкостях углеродных наноматериалов, содержащих многослойные углеродные нанотрубки, которые были получены методом каталитического пиролиза на установке «CVDomna». Многослойные углеродные нанотрубки функционализировались реагентным методом, а их структуры исследованы методом рамановской спектроскопии.

*Ключевые слова:* наножидкость, рамановская спектроскопия, статическое электричество, углеродные наноструктуры, углеводородные жидкости, нефтепродукт

## ENSURING OF ELECTROSTATIC SAFETY OF TRANSPORTATION OF OIL PRODUCTS BY REAGENT MODIFICATION

A.Yu. Sorokin; A.V. Ivanov; M.A. Simonova.

Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The results of studies of the physical and electrophysical properties of modified hydrocarbon liquids affecting the possibility of the formation of a static electricity charge and the formation of a fire hazard of transportation of petroleum products are presented. The modification consisted in dispersing in liquids of carbon nanomaterials containing multi-walled carbon nanotubes, which were obtained by catalytic pyrolysis at the «CVDomna» installation. Multi-walled carbon nanotubes were functionalized by a reagent method, and their structures were investigated by Raman spectroscopy.

*Keywords:* nanofluids, raman spectroscopy, static electricity, electrostatic intrinsic safety, carbon nanostructures, hydrocarbon fluids, oil products

Электризация жидкостей происходит при различных процессах и операциях (распыление, перемешивание, гомогенизация, барботирование, транспортировка и др.). Значительная пожарная опасность может возникать при обращении с непроводящими углеводородными жидкостями. При этом необходимо соблюдать требования

электростатической искробезопасности (ЭСИБ) и учитывать возможные проявления статического электричества (СЭ) в условиях нормальной аварийной работы технологического оборудования [1].

Существующие методы обеспечения взрывопожарной и пожарной безопасности в условиях возможной электризации направлены на предупреждение образования смесей паров жидкости и окислителя в пределах воспламенения, а также на нейтрализацию зарядов СЭ. Нейтрализация СЭ проводится с помощью заземлителей и нейтрализаторов, конструктивных методов, технических и технологических решений, препятствующих образованию зарядов [2].

Одним из способов предотвращения накопления зарядов СЭ является применение антистатических присадок (соединений хрома, меди, кобальта и др.), обеспечивающих утечку заряда на заземленные части оборудования, за счет увеличения объемной проводимости среды. Рабочие концентрации данных присадок составляют тысячные доли процента и при этом позволяют изменять электропроводность жидкостей на порядки. Вместе с тем существующие антистатические присадки не лишены существенных недостатков, накладывающих ограничения на область их применения. В частности, при хранении и транспортировке углеводородных жидкостей присадки сорбируются металлическими поверхностями емкостей и трубопроводов и теряют свою эффективность [2, 3]. Таким образом, задача разработки антистатических присадок для управления процессами испарения и электризации углеводородных жидкостей при их транспортировке является весьма актуальной. В работе приведены результаты исследования структуры наноматериалов, коэффициента поверхностного натяжения, кинетики испарения углеводородных жидкостей, модифицированных углеродными наноконпонентами, а также процессов их электризации в условиях ультразвуковой гомогенизации.

Согласно ГОСТ 31613–2012 для обеспечения электростатической ЭСИБ необходимо соблюдение условий, при которых значение энергии разряда не превышало критических значений для соответствующих парообразных смесей [4].

При использовании антистатических присадок, при определенной концентрации примесей в нефтепродукте возможна его наибольшая электризация. Экспериментально установлено, что при удельном электрическом сопротивлении порядка  $10^{11}$  Ом·м наблюдается наибольшая электризация нефтепродуктов [5].

Применение антистатических присадок для увеличения поверхностного натяжения и электропроводности легковоспламеняющихся жидкостей и горючих жидкостей может обеспечить требуемую интенсивность утечки заряда из объема углеводородных жидкостей, что в сочетании с минимизацией интенсивности испарения позволит снизить вероятность возникновения искровых разрядов СЭ при транспортировке.

Применение углеродных наноструктур, в том числе многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT) позволяет изменять свойства различных жидкостей. Экспериментально установлено, что свойства модифицированных наноматериалов во многом зависят от концентрации наноструктур, а также от соотношения длин и диаметров нановолокон [6]. Так, например, добавление в этанол MWCNT (0,5–3,0 % об.) диаметром нановолокон  $d=10\text{--}30$  нм с последующим диспергированием ультразвуком позволяет повысить электропроводность в 2–15 раз [7], а добавление в аналогичный этанол MWCNT (0,5–3,0 % об.) диаметром нановолокон  $d=30$  нм и длиной  $l=2\text{--}5$  мкм позволяет увеличить электропроводность в 2–3 раза и снизить давление насыщенного пара на 20–50 % [8].

В качестве объектов исследования были выбраны углеродные наноматериалы, содержащие MWCNT, которые были получены методом каталитического пиролиза на установке «CVDomna» [9]. Наноматериалы подвергались реагентной модификации для улучшения их эксплуатационных характеристик [10].

Имеющиеся MWCNT функционализировались в смеси 25 % азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) и 75 % серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Сводные данные о характере подготовки наноматериалов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Порядок подготовки исследуемых наноматериалов

Наименование образца	Технологические операции			
	Обработка смесью кислот	Сбор выпавшего осадка	Центрифугирование взвеси	Промывка дистиллированной водой
MWCNT (H) нр	+	+	–	+
MWCNT (H) пр	+	–	+	+
MWCNT (O) нр	+	+	–	+
MWCNT (O) пр	+	–	+	+

Оценка изменения характеристических пиков углеродного наноматериала с MWCNT при их функционализации проводилась методом рамановской спектроскопии на установке «Ntegra Spectra» с длиной волны лазера 532 нм.

Углеродный наноматериал «MWCNT(O)» изначально содержал достаточно большое количество структурированного углеродного материала и имел хорошо выраженную G-полосу в области  $1\,600\text{ см}^{-1}$ . D-полоса в области  $1\,400\text{ см}^{-1}$  также была значительно выражена, что может говорить о наличии в образце аморфного углерода (рис. 1). Наноматериал «MWCNT(H)» не имел хорошо выраженной G-полосы, в то время как D-полоса, характеризующая наличие аморфного углерода, была выражена отчетливо (рис. 2), что может говорить о низком качестве исходного наноматериала.

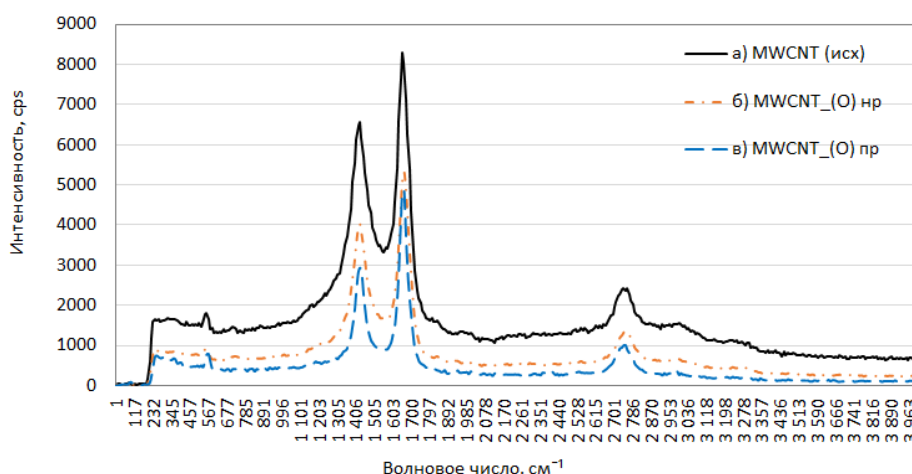


Рис. 1. Рамановский спектр наноматериала MWCNT (O):  
а) исходный материал; б) MWCNT в нерастворимом осадке; в) MWCNT во взвеси

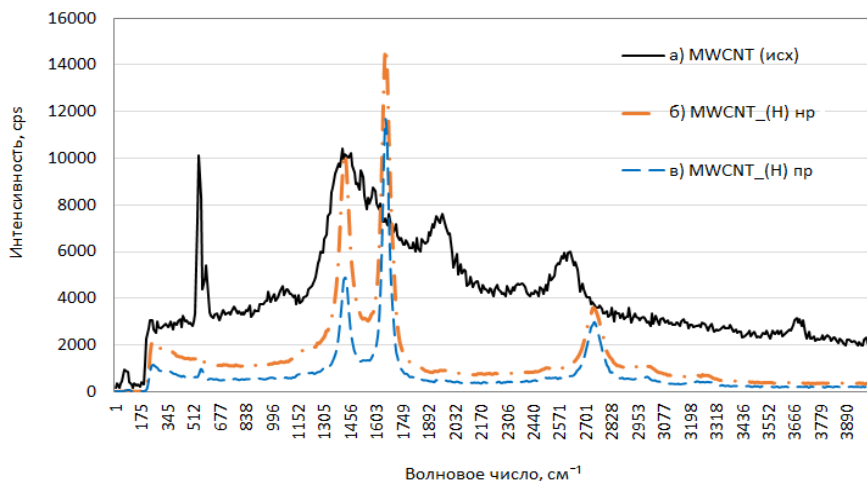


Рис. 2. Рамановский спектр наноматериала MWCNT (H) при его функционализации:  
а) исходный материал; б) MWCNT в нерастворимом осадке; в) MWCNT во взвеси

После функционализации рамановские спектры наноматериалов «MWCNT(O)» и «MWCNT(H)» характеризовались интенсивной G-полосой. Интенсивность D-полосы, характеризующая дефектность MWCNT в наноматериале, выше для образцов, полученных при центрифугировании взвеси функционализированных нанотрубок «MWCNT(O)» в сравнении с образцами «MWCNT(H)».

В качестве базовых жидкостей использовался бензин НЕФРАС-С2-80/120 [11, 12] и керосин «ТС-1» [13, 14]. Сводные данные о свойствах жидкостей приведены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства исследуемых жидкостей

Свойства	Керосин «ТС-1»	Бензин НЕФРАС-С2-80/120
Молярная масса, кг/кмоль	~ 156	~ 114
Температура вспышки, °С	≥ 28	–17
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	≥ 781	720
Поверхностное натяжение при 25 °С, Н/м	~ 0,024	~ 0,021

Наножидкости получены путем диспергирования наноматериалов с MWCNT в базовой жидкости (с концентрацией 0,2 масс. %) при воздействии источника ультразвука с частотой 100 кГц в течение одного часа при температуре 40 °С.

Образование взрывоопасных концентраций возможно при аварии транспорта нефтепродуктов с образованием взрывоопасных концентраций. Одним из основных направлений обеспечения пожарной безопасности технологических процессов, связанных с транспортировкой углеводородных жидкостей, является соблюдение условий взрывозащиты в условиях опасных проявлений СЭ, связанных с электризацией жидкостей.

Взрывы паровоздушных смесей жидких углеводородов при разрядах СЭ возможны при наличии над зеркалом жидкости паров взрывоопасной концентрации и достаточной энергии электрического разряда.

Количество испарившейся жидкости определяется по формуле:

$$m_{\text{исп}} = W \cdot \tau_{\text{исп}} \cdot S_{\text{исп}},$$

где  $W$  – интенсивность испарения нефтепродукта, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\tau_{\text{исп}}$  – время испарения, с;  $S_{\text{исп}}$  – площадь испарения, м<sup>2</sup>.

Для исследования процесса испарения предварительно подготовленные наножидкости помещались в емкости с открытой поверхностью диаметром 60 мм и высотой 72 мм. Испарение жидкостей происходило в вытяжном шкафу размером 1,5х1,2х2,5 м<sup>3</sup> при температуре воздуха 25 °С и кратности воздухообмена 6 ч<sup>-1</sup>. Потеря массы фиксировалась на лабораторных весах марки «ВЛТЭ-5000» в течение трех часов для бензина НЕФРАС-С2-80/120 и семи суток для керосина «ТС-1».

По результатам измерений можно сделать вывод, что внедрение MWCNT в базовую жидкость позволяет снизить интенсивность испарения в среднем на 30 % для бензина НЕФРАС-С2-80/120 (рис. 3). Для керосина «ТС-1» с наноматериалом MWCNT(O) наблюдалось снижение интенсивности испарения на 38 %, а для MWCNT(H) интенсивность испарения наножидкости осталась практически на прежнем уровне, что может быть объяснено сорбционными свойствами веществ (рис. 4).

При аварии транспорта нефтепродуктов возможно утечка углеводородных жидкостей. Скорость истечения наножидкостей определялась методом каплепадения. Измерения показывают, что скорость истечения наножидкостей на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120 ниже на 6–12 % (рис. 5). Для наножидкостей на основе керосина «ТС-1» наблюдалось увеличение значений времени истечения на 10–24 % (рис. 6).

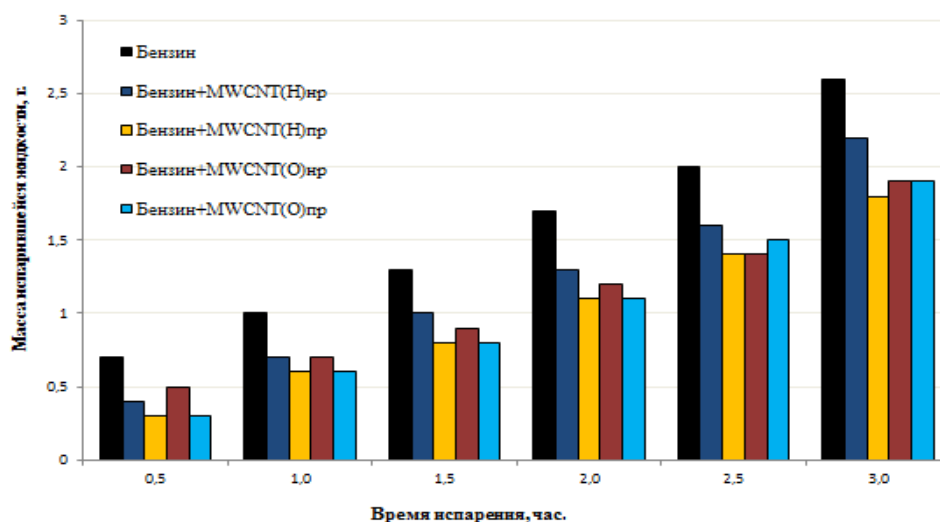


Рис. 3. Количество испарившейся наножидкости на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120 при испарении с открытой поверхности

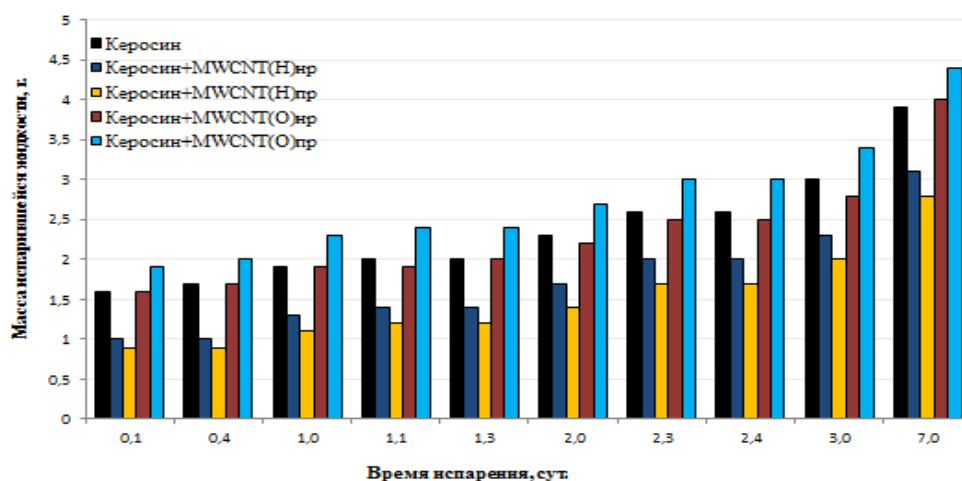


Рис. 4. Количество испарившейся наножидкости на основе керосина «ТС-1» при испарении с открытой поверхности

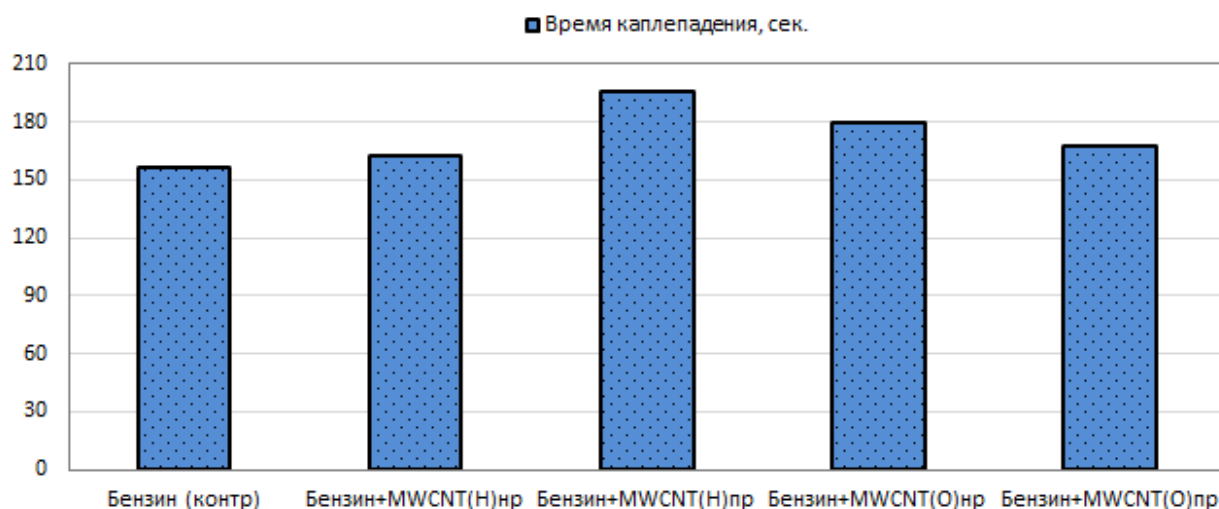


Рис. 5. Время истечения наножидкостей на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120

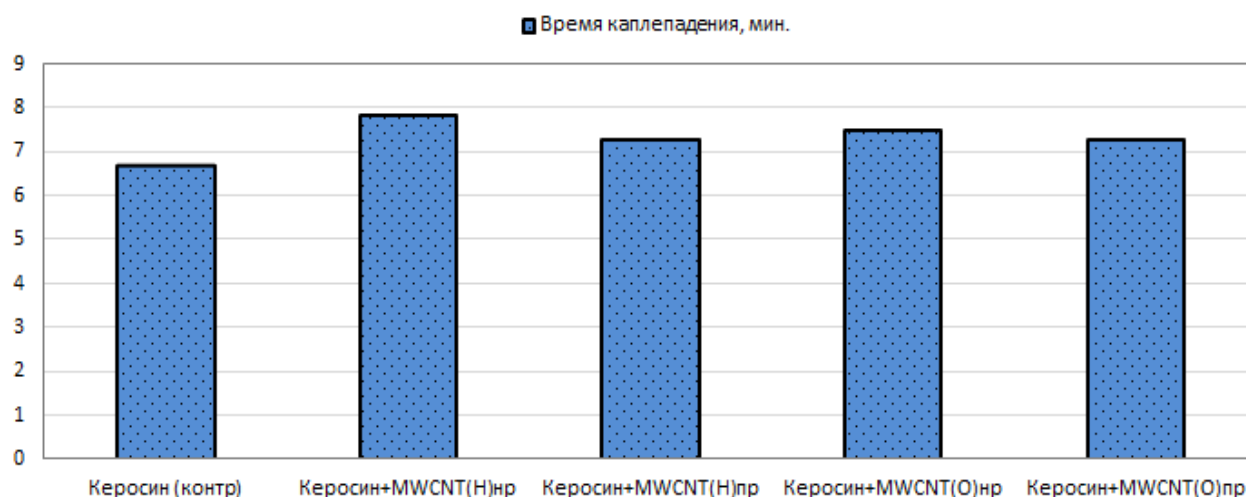


Рис. 6. Время истечения наножидкостей на основе керосина ТС-1

Исследование процессов электризации наножидкостей проводилось в установке ультразвуковой гомогенизации. Наножидкости помещались в стеклянные емкости объемом 50 мл, после чего проводилось их перемешивание при воздействии ультразвуком (частота 100 кГц, мощность 1 кВт) в течение 5 мин при температуре 25–40 °С. Напряженность электрического поля измерялась электростатическим вольтметром «SF 156» на расстоянии 50 мм от поверхности жидкости.

Результаты измерений напряженности электрического поля при гомогенизации наножидкостей на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120 и керосина «ТС-1» представлены на рис. 7, 8. Практически для всех образцов наножидкостей наблюдалась более низкая скорость электризации по сравнению с базовыми жидкостями, что свидетельствует об их более высокой удельной электропроводности (менее  $10^{10}$  Ом·м).

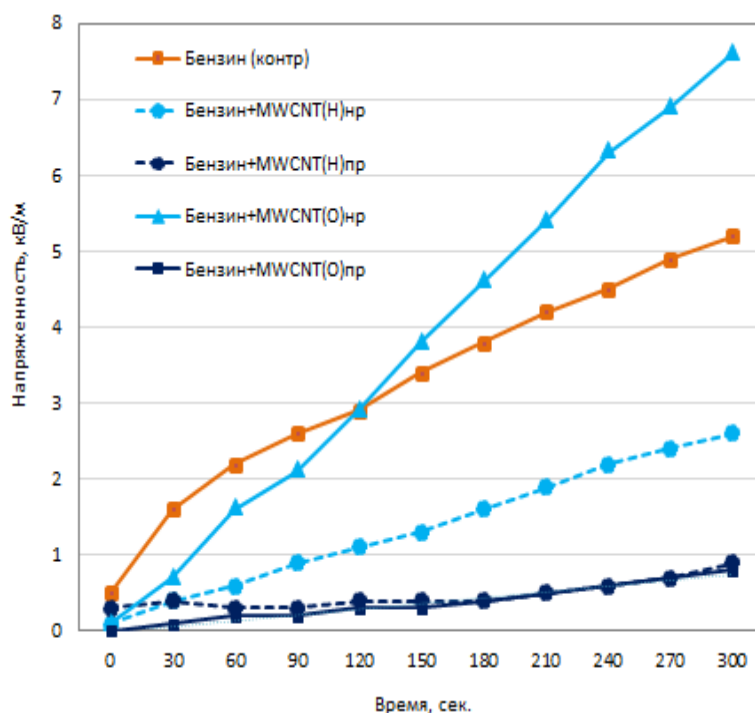


Рис. 7. Напряженность электрического поля при гомогенизации наножидкостей на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120

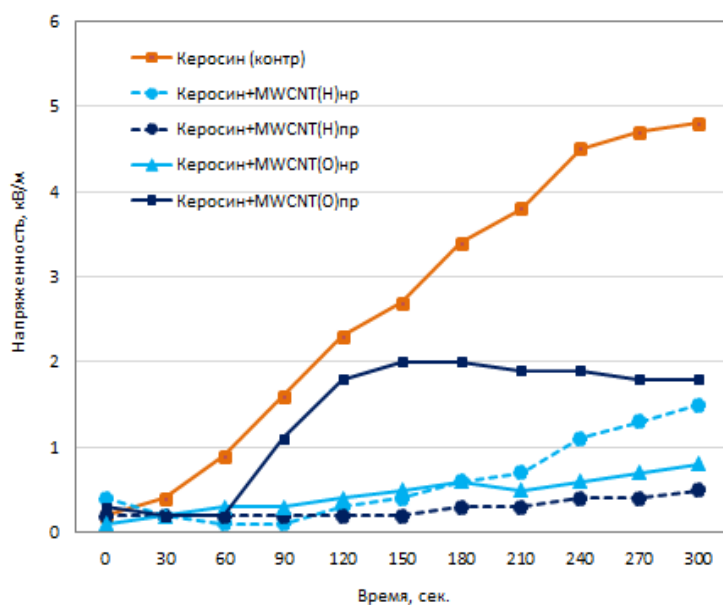


Рис. 8. Напряженность электрического поля при гомогенизации наножидкостей на основе керосина «ТС-1»

Диэлектрическая проницаемость модифицированных жидкостей определялась резонансным методом, основанным на явлении резонанса в колебательном контуре и обусловленной резким увеличением амплитуды колебаний электрического заряда при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний колебательного контура [15].

Диэлектрическая проницаемость исследуемой жидкости определялась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{C_x \cdot d}{A \cdot \varepsilon_0},$$

где  $C_x$  – электрическая емкость (измеренная), Ф;  $d$  – расстояние между обкладками конденсатора, м;  $A$  – площадь обкладок, м<sup>2</sup>;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная, Ф/м;  $\varepsilon_0 = 8,8518 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

При определении диэлектрической проницаемости жидкостей полученные данные показали, что наножидкости на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120 имеют более низкие в сравнении с исходными образцами значения (снижение на 12...38 %) (рис. 9). У наножидкостей на основе керосина ТС-1 наблюдается снижение диэлектрической проницаемости до 16...44 % (рис. 10).



Рис. 9. Диэлектрическая проницаемость жидкостей на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120

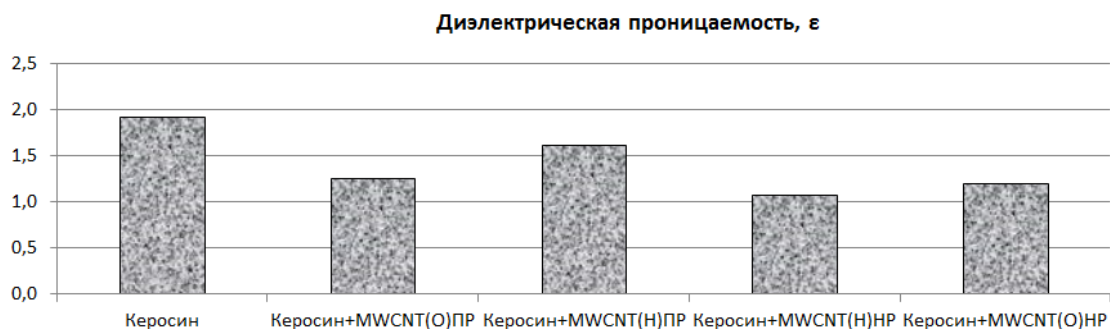


Рис. 10. Диэлектрическая проницаемость жидкостей на основе керосина ТС-1

Измерение удельного электрического сопротивления жидкостей проводилось с помощью тераомметра «Е6-13А» в поддиапазонах свыше  $10^9$  Ом. При этом исследуемые жидкости помещались в измерительную камеру, клеммы заземления измерительной камеры и прибора соединялись между собой. Измерения проводились по ГОСТ ISO 6297-2015 [16] сразу же после отбора проб, после электрофизической обработки и депонирования MWCNT.

При измерении удельного объемного электрического сопротивления наножидкостей на основе бензина НЕФРАС-C2-80/120 полученные данные показали снижение электросопротивления в сравнении с исходными образцами от 37 % до 57 % (рис. 11). Удельное объемное электросопротивление большинства наножидкостей на основе керосина ТС-1 снизилось до 17 % (рис. 12).



Рис. 11. Удельное объемное электрическое сопротивление жидкостей на основе бензина НЕФРАС-C2-80/120



Рис. 12. Удельное объемное электрическое сопротивление жидкостей на основе керосина ТС-1



Таким образом, проведенные исследования свойств наножидкостей на основе бензина НЕФРАС-С2-80/120 и керосина ТС-1 позволяют сделать следующие выводы:

1. Реагентная модификация наноструктур позволяет повысить качество углеродного наноматериала для дальнейшего его использования в качестве антистатической присадки для углеводородных жидкостей.

2. Изменение скорости истечения и интенсивности испарения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей посредством введения в них наноматериалов с MWCNT позволяет снизить вероятность возникновения взрывоопасных концентраций в случаях аварии при транспортировке нефтепродуктов, а также при аварийной работе технологических аппаратов с углеводородными жидкостями.

3. Снижение напряженности электрического поля при ультразвуковой гомогенизации, диэлектрической проницаемости и удельного объемного электрического сопротивления наножидкостей с MWCNT позволяет снизить вероятность возникновения искровых разрядов статического электричества на поверхности нефтепродуктов.

4. Добавление MWCNT в качестве компонента реагентной модификации позволяет снизить вероятность возникновения взрывоопасных ситуаций при транспортировке и операциях слива-налива легковоспламеняющихся жидкостей.

### Литература

1. Веревкин В.Н. Стандарты и нормы электростатической искробезопасности (ЭСИБ) // Энергобезопасность и энергосбережение. 2008. № 1 (22). С. 41–48.
2. Статическое электричество в химической промышленности / Б.Г. Попов [и др.]. 2 изд., пер. и доп. / под ред. Б.И. Сажина. Л.: Химия, 1977. 240 с.
3. Хайдаров А.Ф., Климентова Г.Ю. Компоненты антистатических присадок к дизельному топливу // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 1. С. 266–267.
4. ГОСТ 31613–2012. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.
5. Бобровский С.А., Яковлев Е.И. Защита от статического электричества в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1983. 160 с.
6. Theoretical and computational studies of carbon nanotube composites and suspensions: Electrical and thermal conductivity / M. Foygel [and etc.] // Physical Review B. 2005. Т. 71. № 10. С. 104–201.
7. Исследование электрической проводимости в спиртовых суспензиях многослойных углеродных нанотрубок / Ю.В. Панин [и др.] // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2012. Т. 8. № 2. С. 70–72.
8. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Медведева Л.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 26. № 9. С. 30–37.
9. Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Симунин М.М. Технология производства углеродных нанотрубок методом каталитического пиролиза этанола из газовой фазы // Химическая технология. 2007. Т. 8. № 2. С. 58–62.
10. Удовицкий В.Г. Методы оценки чистоты и характеристики свойств углеродных нанотрубок // Физическая инженерия поверхности. 2009. ФП ФИП PSE. 2009. Т. 7. № 4. Vol. 7. № 4. С. 351–373.
11. ТУ 38.401-67-108-92 Бензин-растворитель для резиновой промышленности. Технические условия. Уфа: Нефтехим., 1992. 31 с.
12. ТУ 2319-006-71371272-2006 Растворители нефтяные. Фасовка. Упаковка. Маркировка. Транспортирование и хранение. СПб., 2006.
13. ТУ 2319-004-71371272-2006. Керосин. Фасовка. Упаковка. Маркировка. Транспортирование и хранение. СПб., 2006.

14. ГОСТ 10227–86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 9 с.
15. Гусев Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии. Казань: КГУ, 2008. 112 с.
16. ГОСТ ISO 6297–2015 Нефтепродукты. Топлива авиационные и дистиллятные. Определение удельной электропроводности. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ НАНОЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

**А.В. Иванов, кандидат технических наук;  
А.А. Мифтахутдинова;  
Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены результаты исследования изменения надмолекулярной структуры этанола и наножидкости на его основе при электрофизическом воздействии методами рамановской спектроскопии. Установлено, что для образцов этанола, находящихся в условиях электрофизического воздействия, происходит смещение характеристических пиков на  $10...20\text{ см}^{-1}$  при одновременном относительном увеличении их интенсивности в сравнении с немодифицированной жидкостью. Также выявлено отсутствие наночастиц в приповерхностном слое жидкости в концентрации, достаточной для их идентификации.

*Ключевые слова:* легковоспламеняющиеся жидкости, этанол, многослойные углеродные нанотрубки, стабилизация, переменный частотно-модулированный потенциал

## **INVESTIGATION OF THE NON-MOLECULAR STRUCTURE OF NANOID FLUIDS BASED ON OIL PRODUCTS BY THE METHOD OF RAMAN SPECTROSCOPY**

A.V. Ivanov; A.A. Miftakhutdinova; G.K. Ivakhnyuk.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Presents the results of investigation of the changes in non-molecular structure of ethanol and a nanofluid based on it under the influence of electrophysical methods of Raman spectroscopy. It is established, for ethanol samples, at electrophysical action, the characteristic peaks shift by  $10 \dots 20\text{ cm}^{-1}$  in comparison with the unmodified liquid. The absence of nanoparticles in the surface layer of the liquid in a concentration sufficient for their identification was revealed.

*Keywords:* flammable liquids, ethanol, multi-walled carbon nanotubes, stabilization, variable frequency-modulated potential

Рамановская спектроскопия является универсальной методикой для анализа жидкости, начиная от качественного обнаружения твердых, жидких и газообразных компонентов до идентификации многоатомных ионов в растворе. Основные преимущества этой методики являются минимальная подготовка проб и высокая универсальность.

Рамановская спектроскопия основана на неупругом рассеянии света веществом в его твердом, жидком или газовом состоянии. Монохроматический свет, рассеянный веществом, содержит излучения с частотами, отличными от возбуждающего света. Этот эффект,

предсказанный Смекалом (1923 г.), был продемонстрирован Раманом (1928 г.) и назван в его честь. В нескольких жидкостях Раман наблюдал рассеянный свет, который имел энергию больше, чем входящий. Наблюдение увеличения энергии убеждало его в том, что он открыл новый эффект рассеяния света, поскольку уменьшение энергии света, такое как флуоресценция было уже известно (Раман и Кришнан, 1928 г.).

Прямым способом объяснить комбинационное рассеяние света является квантово-механическая модель, в которой рассматривается взаимодействие фотонов с молекулами.

Молекула имеет различные уровни колебательной энергии, основное состояние  $n=0$  и возбужденные состояния  $n=1$ ,  $n=2$ ,  $n=3$  и т.д., которые разделены квантом энергии  $\Delta E = h\nu_m$ , где  $h$  – константа и  $\nu_m$  – частота молекулярных колебаний. Падающий видимый свет ( $\lambda=400\text{--}750$  нм) с энергией  $\nu I$  индуцирует переходы на виртуальные уровни колебательной энергии в молекулах. Виртуальный уровень не является фактическим энергетическим уровнем молекулы и генерируется, когда светлые фотоны взаимодействуют с молекулой, поднимая ее энергию. Этот виртуальный уровень неустойчив, и свет мгновенно выделяется как рассеянное излучение [1].

Рамановская спектроскопия – это измерение анизотропии фотонов от рассеяния света с помощью упругого – комбинационного рассеяния света. Спектр комбинационного рассеяния – это график интенсивности света, выраженный в виде произвольных единиц или отсчетов, в зависимости от частоты рассеянного света (то есть колебательных мод комбинационного рассеяния) в частотных единицах (волновые числа  $\sim \nu = \nu c = I/\lambda$  в  $\text{см}^{-1}$ , где  $c$  – скорость света (рис. 1). Как правило, представлены только рассеянные частоты Стокса Рамана, так как они имеют одинаковую энергию, но примерно в 10 раз чаще, чем их антистоксовы аналоги.

Частота рассеяния Рэля (то есть волновое число источника света) лежит на  $0 \text{ см}^{-1}$ , а частоты Рамана выражаются как относительные волновые числа или сдвиги комбинационного рассеяния. В этом масштабе частоты соответствуют уровням энергии различных молекулярных колебаний и не зависят от длины волны источника света.

В данном исследовании применялся метод рамановской спектроскопии с целью установить изменения в структуре вещества при воздействии переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) [2].

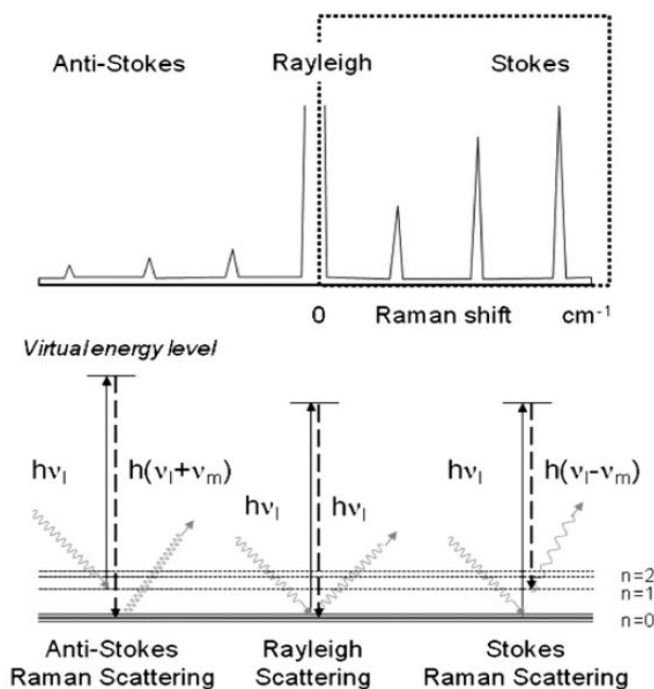


Рис. 1. Схема энергетического уровня упругого (Рэля) и неупругого (комбинационного) рассеяния на частоте источника света ( $\nu I$ ) и спектров Рамана и Рэля. Молекулярная вибрация анализируемого образца имеет частоту  $\nu_m$

В качестве объектов исследования были выбраны углеродные наноматериалы, содержащие MWCNT (англ. multi-walled carbon nanotubes – многослойные углеродные нанотрубки) ( $l=10\ldots 20$  мкм,  $d=10\ldots 30$  нм), которые были получены методом каталитического пиролиза на установке «CVDomna» [3]. В качестве базовой жидкости использовался этанол (ГОСТ 18300–87). Сводные данные по свойствам базовой жидкости приведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства жидкости

Свойства	Значение
Молярная масса, кг/кмоль	46,069
Температура вспышки, °C	13
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	789
Поверхностное натяжение, Н/м	$22,391 \cdot 10^3$
Удельная электропроводность, См/м	$0,769 \cdot 10^{-4}$

Наножи́дкости получены путем диспергирования наноматериалов с MWCNT в базовой жидкости (с концентрацией 0,5 и 1,0 масс. %) при воздействии источника ультразвука с частотой 100 кГц в течение одного часа при температуре 40 °C. В ходе экспериментов отдельные образцы наноматериалов подвергались электрофизическому воздействию [4] с параметрами ПЧМП 56 В, 50 Гц [5].

Оценка структуры наножи́дкостей с MWCNT при их модификации проводилась методом рамановской спектроскопии на установке Ntegra Spectra с длиной волны лазера 532 нм. Объем исследуемой жидкости составлял 10 мл, температура – 20 °C.

В табл. 2 приведены значения основных характеристических пиков исследуемых веществ.

Таблица 2. Значения основных характеристических пиков исследуемых веществ

Наименование вещества	Колебательная полоса	Частота полосы спектра, см <sup>-1</sup>	Источник
MWCNT	D-полоса углеродных материалов	1 250–1 450	[12]
	G-полоса (тангенциальные колебания в плоскости графенового слоя)	1 500–1 600	
	G'-полоса (первый обертона D-полосы)	2 450–2 650	
Этанол	Полоса колебаний СО-группы	950–1 250	[13]
	Полоса колебаний СН <sub>2</sub> -группы	2 800–3 000	
	Полоса колебаний СН <sub>3</sub> -группы	3 000–3 100	
	Полоса колебаний ОН-группы	3 250–3 550	

В рамановском спектре наножи́дкости на основе этанола и углеродных нанотрубок характеристические пики MWCNT не наблюдаются, что свидетельствует об отсутствии наночастиц в приповерхностном слое жидкости в концентрации, достаточной для их идентификации (рис. 2).

Для образцов этанола, находящегося в условиях электрофизического воздействия, происходит смещение характеристических пиков на  $10\ldots 20$  см<sup>-1</sup> при одновременном относительном увеличении их интенсивности в сравнении с немодифицированной жидкостью (рис. 3).

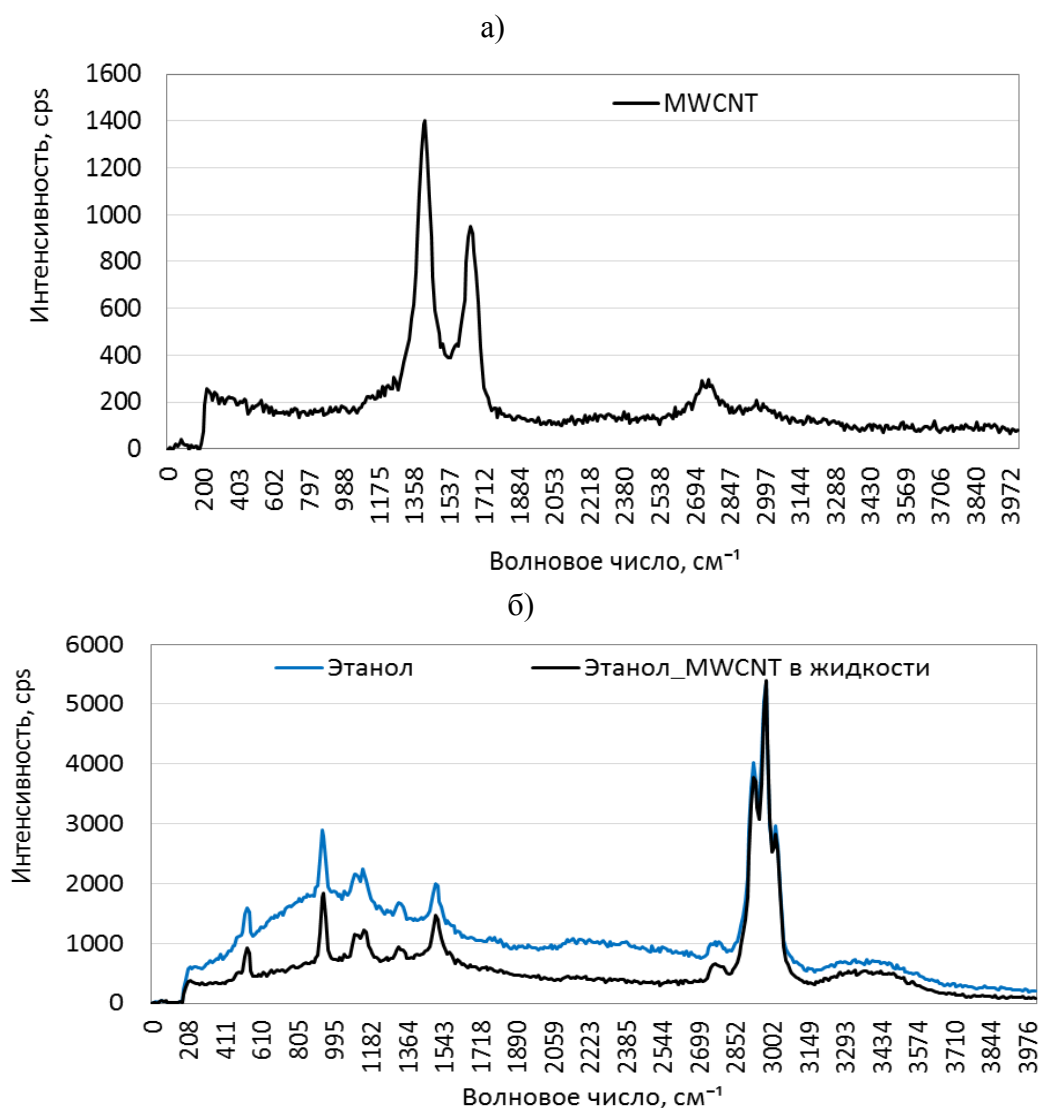
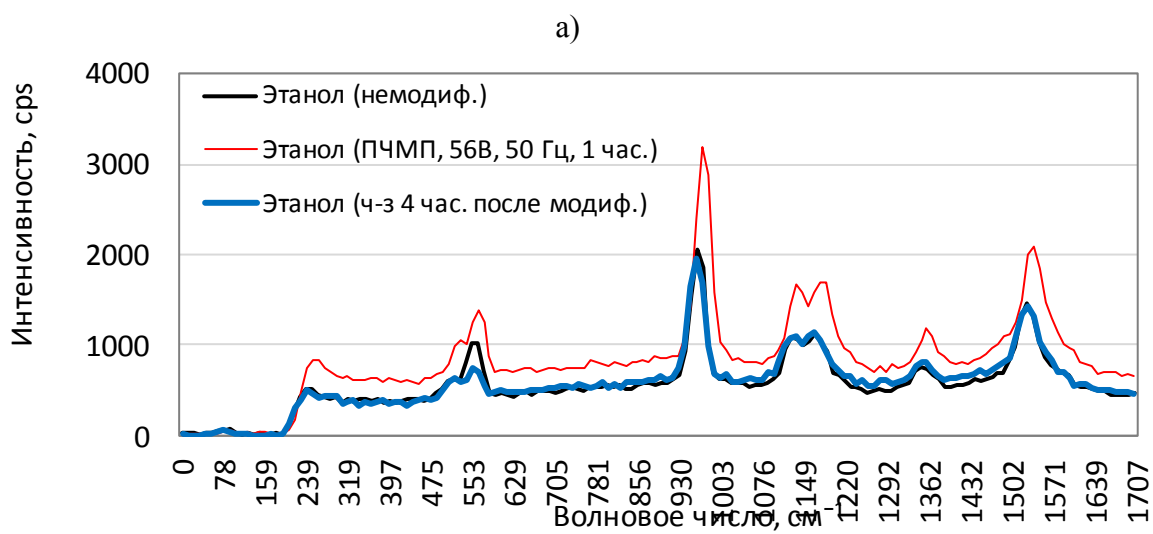


Рис. 2. Рамановский спектр MWCNT:  
а) исходный материал; б) MWCNT в этаноле в концентрации 1,0 масс.%



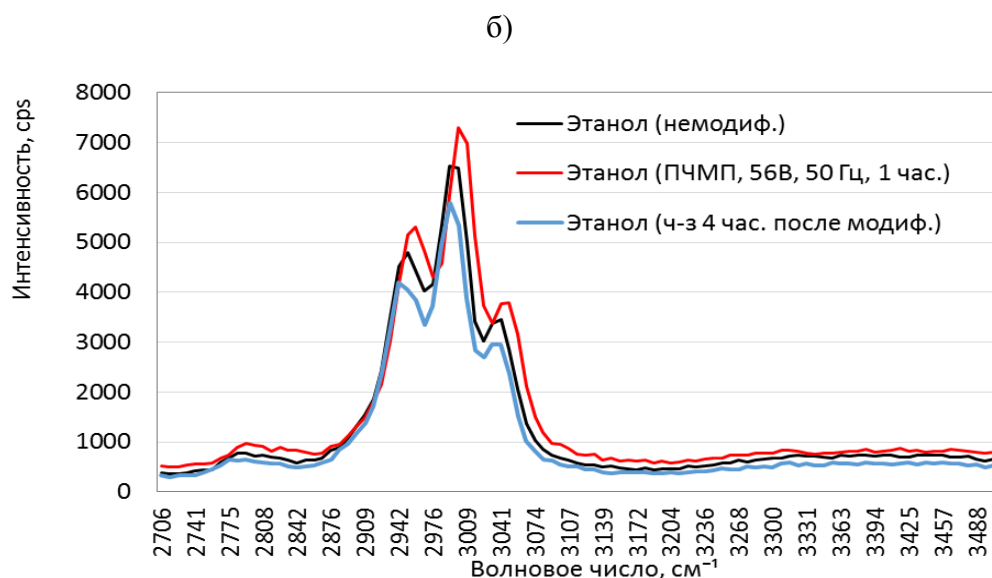


Рис. 3. Рамановский спектр этанола: не модифицированного;  
при воздействии ПЧМП в течение 1 ч; через 4 ч после воздействия ПЧМП:  
а) в диапазоне 0...1700 см<sup>-1</sup>; б) в диапазоне 2700...3400 см<sup>-1</sup>

Можно предположить, что данный эффект возможен в случае, когда в результате электрофизического воздействия происходит изменение надмолекулярной структуры вещества [4]. В течение четырех часов после электрофизического воздействия рамановский спектр этанола становился практически идентичен спектру немодифицированной жидкости.

Таким образом, электрофизическое воздействие изменяет надмолекулярную структуру углеводородных жидкостей [6], что наблюдалось методом рамановской спектроскопии на образцах с этанолом. В результате воздействия ПЧМП наблюдается сдвиг основных характеристических пиков рамановского спектра этанола в диапазоне 10–20 см<sup>-1</sup>. В течение четырех часов после электрофизического воздействия рамановский спектр вещества становится идентичен исходному.

### Литература

1. Frezzotti M-L., Tecce F., Casagli A. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // *Journal of Geochemical Exploration* 112 (2012). p. 1–20.
2. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К. Применение электрофизического метода управления процессами парообразования легковоспламеняющихся жидкостей в условиях модификации углеродными наноконпонентами // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2015. № 3. 9 с.
3. Электризация жидкостей и ее предотвращение / В.В. Захарченко [и др.]. М.: Химия, 1975. 128 с.
4. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация / Г.К. Ивахнюк [и др.]; опубл. 10 апр. 2013 г. Бюл. № 10 Федер. службы по интел. собств. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005> (дата обращения: 10.06.2016).
5. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Медведева Л.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. Т. 26. № 9. С. 30–37.
6. Оценка воздействия электрофизической обработки на физико-химические свойства нефтепродуктов / Р.Р. Гарифулин [и др.] // *Ecology and development of society*. 2013. № 1 (7). С. 29.

# **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НА СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА**

**Ш.Г. Гаджиев.**

**Главное управление МЧС России по Республике Дагестан.**

**Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Дано описание способа модификации водногелевых составов в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала, приведены сведения о физических свойствах немодифицированной и модифицированной воды, огнетушащих и теплозащитных характеристиках водногелевых составов.

*Ключевые слова:* водногелевые составы, гидрогели, переменный частотно-модулированный потенциал, огнетушащее вещество

## **INFLUENCE OF ELECTROPHYSICAL MODIFICATION ON PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF WATER-GEL COMPOSITIONS AT EXTINGUISHING FIRES ON OBJECTS OF TRANSPORT**

Sh.G. Hajiyev. EMERCOM of Russia for the Republic of Dagestan.

G.K. Ivakhnuk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The present description of the method for modifying water-gel compositions in the conditions of the action of an alternating frequency-modulated potential is given, data on physical properties of unmodified and modified water, fire-extinguishing and heat-protective characteristics of water-gel compositions are given.

*Keywords:* water-gel compositions, hydrogels, variable frequency-modulated potential, fire-extinguishing agent

Ежегодные статистические данные указывают на неуклонный рост числа пожаров на объектах автомобильного, водного, железнодорожного и воздушного транспорта. Помимо углеводородных горюче-смазочных материалов, пожарная нагрузка на транспорте представлена двумя основными группами: термопластичными и термореактивными материалами, которые при пожаре образуют углеродные остатки (кокс и угли) и вследствие наличия в них развитой пористости и некачественного тушения могут повторно возгораться. В связи с этим при тушении пожаров на транспорте применяемые традиционные огнетушащие вещества (ОТВ) не всегда эффективны и требуют наличия дополнительных специфических свойств.

Применение комбинированных ОТВ, обладающих улучшенными физико-химическими свойствами (повышенной адгезией, термической устойчивостью, теплоизолирующей и значительной охлаждающей способностью) даст определенные преимущества при тушении пожаров (снижение расхода ОТВ и времени тушения пожара). Именно эти характеристики позволят эффективно использовать ОТВ при тушении пожаров и огнезащите от тепловых потоков конструкционных материалов на транспорте. Для решения данной задачи в качестве ОТВ предлагается использовать в системах пожаротушения водногелевые составы на основе модифицированной воды.

Модифицирование воды осуществлялось под воздействием генератора частотно-модулируемого потенциала (ПМЧП). Устройство ПМЧП, с помощью которой создавалось переменное электрическое поле, представляет собой генератор нелинейно-искаженного сигнала синусоидальной формы с несущей частотой, равной 50 Гц [1], с напряженностью создаваемого электрического поля 90 В/м [2].

Независимыми измерениями с применением современного физико-химического инструментария подтвержден факт изменения физических свойств воды и, как следствие, изменение ее надмолекулярной структуры (табл. 1–3).

Таблица 1. Изменение физических свойств дистиллированной воды при воздействии ПМЧП

Физические свойства дистиллированной воды	Время обработки воды ПМЧП, мин						
	0	10	20	30	40	50	60
Изменение массы испарившейся с открытой поверхности жидкости ( $\Delta m/m$ )·100 %	0	+ 6,21	+ 7,32	+ 8,08	+ 12,01	+ 16,02	+18,70
Изменение динамической вязкости $\eta$ , ( $\Delta \eta/\eta$ )·100 %	0	– 0,88	– 1,27	– 1,78	– 1,82	– 1,84	– 1,84
Изменение плотности $\rho$ ( $\Delta \rho/\rho$ ) 100 %	0	– 0,05	– 0,07	– 0,06	– 0,06	– 0,07	– 0,07

Из представленных данных видно, что в большинстве случаев существенное изменение физических свойств воды при воздействии ПМЧП происходит преимущественно в течение 40–50 мин, дальнейшее подведение сигнала к объекту нецелесообразно.

Изучение влияния электрофизического воздействия ПМЧП на надмолекулярную структуру воды производилась с помощью метода лазерной спектrofотометрии, основанной на определении спектральных характеристик квазиупругого рассеянного света гелий-неонового лазера с длиной волны 632 нм и выходной мощностью 2,5 мВт при прохождении через жидкость с размером частиц 1...2000 нм [3]. В результате получены данные, свидетельствующие об уменьшении размеров кластеров воды в условиях электрофизического воздействия (рисунок).

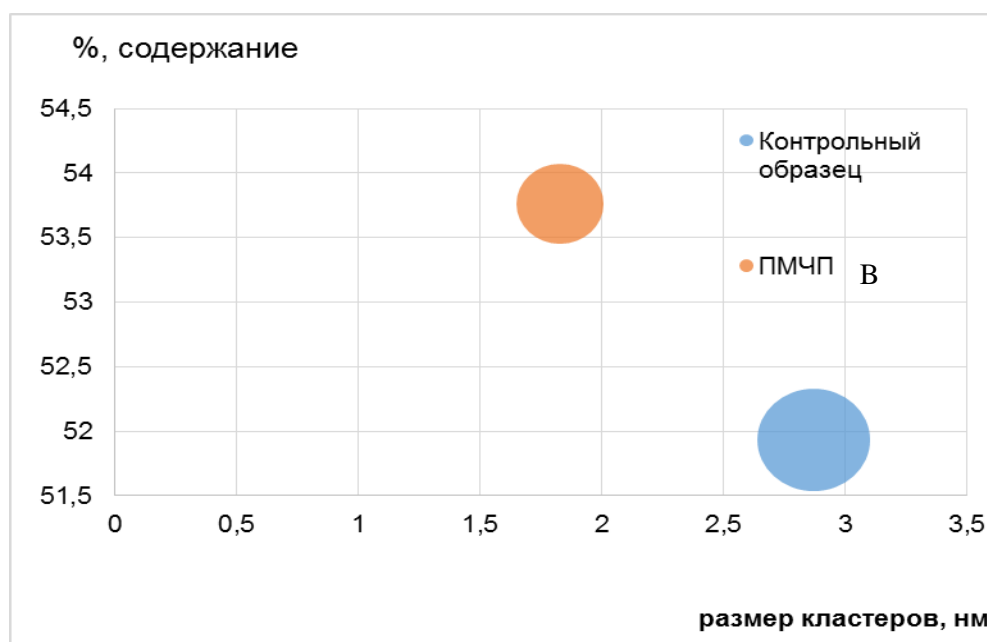


Рис. Изменение размеров и концентрации кластеров при воздействии ПМЧП на дистиллированную воду (А ~ 1,83 нм; В ~ 2,87 нм)



Для воды подобное изменение размеров структурных образований связано с повышением подвижности молекул в результате поглощения энергии электрического поля и, как следствие, ослабление водородных связей с последующей перестройкой надмолекулярных образований.

При прекращении воздействия ПМЧП на воду в системе постепенно восстанавливаются нарушенные водородные связи и возникают новые ассоциаты другого типа, характерные для иного равновесного состояния молекул. Экспериментально получена временная зависимость изменения величины осмотического давления после воздействия ПМЧП на воду (табл. 3) и выдвинуто предложение о возможности сохранения изменений физических свойств воды во времени (до четырех месяцев) путем ее фиксирования в матрице водногелевых составов (ВГС) на основе редкосшитого акрилового полимера (РАП) – карбопола EDT-2020. Из полученных данных сделан вывод о том, что воздействие на воду ПЧМП вызывает изменение характера упорядоченности и структуры полиассоциатов (кластеров), происходящее одновременно во всем объеме и носящее кооперативный характер.

Результаты определения сохранности свойств модифицированной ПЧМП воды и ВГС на ее основе в зависимости от времени воздействия представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2. Проверка сохранности свойств дистиллированной воды

		1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
<i>Немодифицированная вода</i>						
Свойства	Капиллярное поднятие (по стеклянному капилляру)	3,5 мм	3,5 мм	3,5 мм	3,5 мм	3,5 мм
	Осмотическое давление	5,5 мм	5,5 мм	5,5 мм	5,5 мм	5,5 мм
<i>Вода, под воздействием ПЧМП (несущая частота 50 Гц)</i>						
Свойства	Капиллярное поднятие (по стеклянному капилляру)	5,0 мм	5,0 мм	3,5 мм	3,5 мм	3,5 мм
	Осмотическое давление	7,0 мм	7,0 мм	5,5 мм	5,5 мм	5,5 мм
<i>Вода, под воздействием ПЧМП (несущая частота 50 Гц) в клетке Фарадея</i>						
Свойства	Капиллярное поднятие (по стеклянному капилляру)	2,0 мм	3,0 мм	3,5 мм	3,5 мм	3,5 мм
	Осмотическое давление	4,0 мм	5,0 мм	5,5 мм	5,5 мм	5,5 мм

Воздействие на среду ВГС ПЧМП (несущая частота 50 Гц) проводилась 24 ч. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Проверка сохранности биоактивности ВГС

	1–7 день	8–14 день	15–21 день	22–28 день	29–35 день	36 день
<i>ВГС на основе немодифицированной воды</i>						
Осмотическое давление	5,0 мм	5,0 мм	5,0 мм	5,0 мм	5,0 мм	5,0 мм
<i>ВГС на основе воды под воздействием ПЧМП (несущая частота 50 Гц)</i>						
Осмотическое давление	7,0 мм	7,0 мм	7,0 мм	7,0 мм	7,0 мм	5,0 мм
<i>ВГС на основе воды под воздействием ПЧМП (несущая частота 50 Гц) в клетке Фарадея</i>						
Осмотическое давление	7,0 мм	7,0 мм	7,0 мм	7,0 мм	7,0 мм	5,0 мм

Экспериментально установлено, что процесс перемещения молекул модифицированной ПМЧП и немодифицированной дистиллированной воды в сосуде через мембрану определено некоторой энергией. Такой вид энергии называется осмотическим давлением.

При оценке огнетушащих свойств и эффективности применения ВГС на основе модифицированной и немодифицированной воды проводилось испытание в соответствии с ГОСТ Р 51057–2001. Полученные результаты позволили установить зависимость времени тушения от интенсивности подачи и объема ОТВ, фактически поданных для тушения [4, 5].

Полученные данные (табл. 4) свидетельствуют об уменьшении интенсивности подачи и удельного расхода в 2,5 раза для ВГС, а также об снижении времени тушения на 30–40 % при использовании ВГС на основе ПМЧП модифицированной воды по сравнению с немодифицированной водой [3].

Таблица 4. Средние значения результатов по тушению модельных очагов пожара класса «А» модифицированных ВГС

Массовая концентрация, %, %	Воздействие ПМЧП	Интенсивность подачи, л/(с·м <sup>2</sup> ) $I=Q/P_{\text{т}} \cdot 60$	Объем V, л	Время тушения, с	Удельный расход, л/м <sup>2</sup> $q_{\text{уд}}=Q_{\text{отв.}}/P$
0	–	0,026	2,64±0,02	41,4±0,49	1,11±0,02
0	+	0,025	2,49±0,02	39,9±0,41	1,05±0,01
0,10	–	0,024	2,02±0,08	34,5±0,30	0,85±0,01
0,10	+	0,024	1,87±0,03	33,0±0,30	0,78±0,01
0,20	–	0,024	1,46±0,01	25,0±0,30	0,62±0,01
0,20	+	0,024	1,44±0,01	24,0±0,30	0,60±0,01
0,25	–	0,024	1,18±0,02	19,7±0,47	0,49±0,01
0,25	+	0,023	1,05±0,02	18,9±0,41	0,43±0,01
0,30	–	0,023	0,83±0,05	14,9±0,41	0,35±0,01

Таким образом, полученные данные позволяют сделать выводы о том, что ВГС на основе модифицированной воды в сравнении с традиционными ОТВ обладают большей термической устойчивостью и значительной теплоизолирующей способностью, что позволяет эффективно использовать их при тушении пожаров и защиты конструкций от теплового воздействия.

### Литература

1. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация. № 2011118347/08 / Г.К. Ивахнюк [и др.]; заявл. 21 янв. 2010 г., опубли. 10 апр. 2013 г. Бюл. № 10.
2. Сивова Е.В., Швецова О.В., Башер Шериф А. Особенности электрофизических характеристик выходного сигнала приборов типа «ТРАЛ»: материалы науч.-практ. конф. посвящ. 184-й год. образов. С.-Петерб. гос. технол. ин-та (техн. ун-та). 2012. С. 13.
3. Kaszuba M. et al. Measuring sub nanometre sizes using dynamic light scattering // Journal of Nanoparticle Research. 2008. Т. 10. №. 5. С. 823–829.
4. Исследование огнетушащих и теплозащитных свойств водногелевых составов на основе модифицированных наножидкостей / Ш.Г. Гаджиев [и др.] // Науч.-аналит. журнал «Вестник С-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 2.
5. Гаджиев Ш.Г. А.В. Иванов, Г.К. Ивахнюк. Тактико-технические обоснование применения модифицированных водногелевых составов для тепловой защиты и тушения пожаров // Науч.-аналит. журнал «Вестник С-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2016. № 3.

---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

## МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

**И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент;  
С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен пример расчета обобщенного показателя качества по степени выполнения важнейших требований, предъявляемых к образцу пожарной техники.

*Ключевые слова:* обобщенный показатель качества, коэффициенты корреляции, показатели

## QUALITY PRODUCT DEVELOPMENT OF FIRE EQUIPMENT

I.L. Skrypnik; S.V. Voronin.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Presents an example calculation of the generalized indicator of quality according to the degree of implementation of the most important requirements for the sample of fire equipment.

*Keywords:* generalized index of quality, correlation coefficients, indicators

В настоящее время известные из области квалиметрии методы расчета обобщенного показателя качества (ОПК) изделий основываются на использовании системы единичных и комплексных показателей, под которыми понимают частные технические параметры и, соответственно, их средневзвешенные оценки по группе характеристических свойств изделия. Недостатком данного подхода является то, что для расчета ОПК используется большое количество параметров, многие из которых являются второстепенными для описания свойств изделий. Кроме того, при комплексной оценке качества возникают значительные погрешности, которые выражаются в том, что развитая номенклатура менее существенных параметров «скрывает» более существенные, что в конечном итоге влечет за собой сокрытие отдельных крупных недостатков разрабатываемого изделия [1]. Например, разработчикам выгодно завышать коэффициенты весомости тем показателям, которые реализуются лучше, и наоборот уменьшать те, которые требуют больших затрат и сложных проработок. Следует отметить, что неопределенность в назначении коэффициентов весомостей и выборе вида средневзвешенной оценки, в зависимости от условий и целей ее проведения при использовании комплексных методов, выливается в самостоятельную проблему, обычно решаемую эвристически.

С целью устранения подобных негативов предлагаются ОПК рассчитывать по степени выполнения важнейших требований, предъявляемых к образцу пожарной техники. Это значит, что все множество показателей  $X=\{x_k\}$ ,  $k=\overline{1,b}$ ,  $b=n+m$  целесообразно разделить на множество существенных показателей  $X=\{x_i\}$ ,  $i=\overline{1,n}$ , носящих условно-пропорциональный характер, при котором изменение единичного показателя качества (ЕПК) ( $x_i$ ) от начального до заданного значения существенно влияет на эффективность ( $\Theta$ ) использования изделия по назначению, то есть:

$$\frac{d\Theta}{dx_i} = \begin{cases} \gg 0, & \text{при } x_i \geq x_i^* \\ \leq 0, & \text{при } x_i < x_i^* \end{cases},$$

где  $x_i^*$  – минимальное (максимальное) значение  $i$  показателя, установленное в тактико-техническом задании (ТТЗ), и множество несущественных показателей  $X=\{x_j\}$ ,  $j=\overline{1,m}$ , носящих условно-альтернативный характер, при котором изменение ЕПК ( $x_j$ ) от начального до заданного значения несущественно влияет на эффективность использования изделия по назначению, то есть:

$$\frac{d\Theta}{dx_j} \approx 1=0 \text{ при } x_j \geq x_j^* \text{ (} x_j < x_j^* \text{)}.$$

К показателям условно-пропорциональной группы следует относить существенные показатели, определяющие эффективность и экономичность пожарной техники, например, показатели назначения. Очевидно, что максимальное улучшение этих показателей в разрабатываемом изделии в результате принятия оптимальных конструкторских решений и внедрения достижений научно-технического прогресса должно являться непосредственной задачей разработчиков и находить свое отражение в ОПК разрабатываемого изделия, а также соответствующим образом стимулироваться заказчиком.

Условно-альтернативный характер показателей может определяться предельными значениями внешних воздействующих факторов, при которых изделие должно устойчиво функционировать. Так если в ТТЗ предусмотрено требование к работоспособности изделия в температурном интервале от  $-40$  до  $+60^\circ\text{C}$ , то расширение этого диапазона не приведет к существенному повышению эффективности изделия, поскольку в реальных условиях предусмотрена работа изделия с достаточно высокой степенью вероятности только в пределах этого интервала. Аналогичные рассуждения можно привести применительно к большинству эргономических показателей, требований по транспортабельности и т.д. К альтернативным показателям, безусловно, относятся все показатели, устанавливаемые в ТТЗ в виде качественных требований.

Проведенный анализ специальной литературы показывает, что в настоящее время явной зависимости между эффективностью разрабатываемого образца пожарной техники и изменением его показателей нет. Поэтому для разбиения исходного множества показателей  $X=\{x_k\}$  на вышеуказанные подмножества необходимо выбрать некоторый критерий.

Для определения критерия разбиения исходного множества показателей изделия следует использовать методы:

- экспертного опроса;
- анализа функций изделия;
- корреляционно-регрессионного анализа.

Анализ перечисленных методов [2, 3] показал, что первые два обладают рядом недостатков, к которым следует отнести:

- большую трудоемкость и существенные временные затраты;
- наличие субъективизма, присущего самой процедуре экспертного опроса и анализа функций изделия, а также вследствие привлечения большого числа специалистов в данной предметной области;
- низкую степень достоверности получаемых результатов.

Поэтому наиболее целесообразно проводить разбиение исходного множества показателей на основе методов корреляционно-регрессионного анализа. В этом случае в качестве критерия разбиения целесообразно использовать коэффициент выборочной корреляции «затраты-показатель» ( $r_{yxk}$ ), который характеризует степень влияния каждого показателя изделия  $x_k$  на стоимость изделия, и чем выше значение  $r_{yxk}$ , тем существеннее данный  $k$  показатель. Значимость того или иного показателя  $x_k$  может быть определена на основе ряда требований, так как это показано в табл. 1. Проверка на соответствие показателя первым трем требованиям осуществляется в процессе анализа положения ГОСТ, нормативных документов системы общих технических требований (ОТТ) к изделиям пожарной техники и ретроспективных данных о показателях рассматриваемой группы образцов. Для проверки на соответствие выбранного показателя  $x_k$  требованиям 4, 5 предлагается следующая последовательность действий.

Таблица 1. Требования к существенным показателям образцов пожарной техники

№ n/n	Требования	Существенные показатели
1	Должны быть показателями назначения (техническими показателями)	+
2	Должны отражать существенную классификацию образцов пожарной техники	+
3	Должны сохранять стабильность во времени	+
4	Должны оказывать наибольшее, по сравнению с другими, влияние на стоимостные показатели изделий	+
5	Должны быть независимыми от других основных показателей	+

Фрагмент исходных данных о тактико-технических характеристиках (ТТХ) изделий пожарной техники – приборов приемно-контрольных пожарных (ППКП), рассматриваемой группы показателей, включая и стоимостные характеристики, могут быть представлены, как показано в табл. 2.

Таблица 2. Значение показателей образцов ППКП

№ п/п	Наименование параметров	Единицы измерения	Условные номера и типы ППКП					
			№ 1	№ 2	•	•	•	№ (n)
1	Стоимость	тыс. руб.						
2	Напряжение питания	В						
•								
•								
•								
•								
m	Количество шлейфов сигнализации	единиц						

По данным табл. 2 рассчитываются коэффициенты выборочной корреляции «стоимость-показатель»:

$$r_{yxk} = \frac{\overline{y \cdot x_k} - \bar{y} \cdot \bar{x}_k}{S_y \cdot S_{x_k}}.$$

Здесь:

$$\overline{yx_k} = \frac{\sum_{h=1}^d y_h \cdot x_{hk}}{d},$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{h=1}^d y_h}{d}, \quad \bar{x}_k = \frac{\sum_{h=1}^d x_{hk}}{d},$$

$$S_y = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^d (y_h - \bar{y})^2}}{d-1}, \quad S_{x_k} = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^d (x_{hk} - \bar{x}_k)^2}}{d-1},$$

где  $h$  – индекс образца в выборке;  $d$  – число образцов в выборке;  $k$  – индекс показателя в выборке ( $k=1,2,\dots,b$ );  $b$  – количество показателей ( $b=n+m$ );  $n$  – количество существенных показателей;  $m$  – количество несущественных показателей.

Результатом расчета являются коэффициенты выборочной корреляции  $r_{yxk}$ .

Статистическая достоверность коэффициентов корреляции, рассчитанная по малым выборкам, проверяется с помощью z-коэффициентов Фишера и t-распределения Стьюдента по выражениям:

$$z = 0,5 \cdot \ln \frac{1+|r|}{1-|r|}, \quad t = z \cdot \sqrt{d-3}$$

при числе степеней свободы  $\varphi=d-2$ .

При этом оценка производится для уровня значимости  $\alpha=0,10$  по решающему правилу:

– если  $t_{\text{расч.}} > t_{\text{табл.}}$ , то исследуемые коэффициенты значимы;

– если  $t_{\text{расч.}} < t_{\text{табл.}}$ , то гипотеза о значимости исследуемых коэффициентов отвергается.

Расчет и анализ коэффициентов корреляции, характеризующих влияние исследуемых показателей на стоимостный показатель и проверка удовлетворения ими требований 1–3 (табл. 1), дают окончательный ответ на вопрос какие показатели являются существенными.

При этом лицо, принимающее решение (ЛПР), задаваясь порогом по коэффициенту корреляции, само может определить количество существенных показателей. На практике количество таких показателей рекомендуется выбирать равным 6–8. Коэффициенты весомостей существенных показателей при этом определяются как:

$$\alpha_i = \frac{r_{yxi}}{\sum_{i=1}^n r_{yxi}},$$

где  $n$  – количество существенных показателей качества.

Коэффициенты несущественных показателей определяются как:

$$\alpha_j = \frac{1}{m}, \quad (1)$$

где  $m$  – количество несущественных показателей.

Результатом расчетов являются множество существенных показателей  $x^c = \{x_i\}$  ( $i=1,2,...n$ ) и множество несущественных показателей  $x^h = \{x_j\}$  ( $j=1,2,...m$ ), которые наряду с коэффициентами весомости входят в состав расчета ОПК. В примере расчета все показатели, имеющие коэффициенты корреляции  $r_{yx} < 0,5$ , считаются несущественными и имеют одинаковые коэффициенты весомости, рассчитываемые по формуле (1).

Так как конкретные показатели образца имеют разную размерность и масштаб измерений, применить их абсолютные значения для оценки ОПК в прямом виде не представляется возможным. В этой связи возникает необходимость приведения всех показателей к единому масштабу измерений путем нормализации.

Таблица 3. Значения существенных и несущественных показателей

№ п/п	Наименование показателя	Коэффициент корреляции $r_{yx}$	Коэффициент весомости
<i>Существенные показатели</i>			
1	Напряжение питания	0,63	0,216
2		0,61	0,208
3		0,56	0,191
4		0,59	0,201
5		0,54	0,184
<i>Несущественные показатели</i>			
1		<0,5	0,1
2		<0,5	0,1
3		<0,5	0,1
4		<0,5	0,1
5		<0,5	0,1
6		<0,5	0,1
7		<0,5	0,1
8		<0,5	0,1
9		<0,5	0,1
10		<0,5	0,1

Решение данной задачи позволит произвести расчет ОПК разрабатываемого образца косвенным методом, с применением условных единиц путем сравнения его с показателями некоторого базового изделия.

Удобен наиболее простой известный способ нормализации показателей – дифференциальный. В итоге получается множество нормированных значений существенных показателей:

$$Q^c = \left\{ q_i \left| q_i = \left( \frac{x_i}{x_i^*} \right)^{\gamma} \mid \gamma = \pm 1 \right. \right\},$$

где  $\gamma = \pm 1$  – коэффициент, выбираемый в зависимости от того улучшение  $q_i$  разрабатываемого образца являются функцией увеличения или уменьшения значения показателей;  $x_i$  – значение  $i$  существенного показателя разрабатываемого образца;  $x_i^*$  – соответствующее значение  $i$  показателя базового образца;  $q_i$  – нормированное значение  $i$  существенного показателя.

Множество нормированных значений несущественных показателей:

$$Q^n = \left\{ q_j \mid q_j = \left( \frac{x_j}{x_j^*} \right)^\gamma \mid \gamma = \pm 1 \right\}.$$

Показатели, носящие условно-пропорциональный характер, должны быть обязательно реализованы в процессе разработки образца, а увеличение их значений по сравнению со значениями заданными в ТТЗ повлечет за собой соответствующее повышение уровня ОПК, отражающего прирост эффективности разрабатываемого изделия. При реализации всех существенных показателей, исходя из условия, что все несущественные показатели выполнены, по отношению к заданным значениям в ТТЗ, ОПК определяется, как среднегеометрическое значение относительных существенных показателей, и может быть рассчитан по формуле:

$$\text{ОПК} = \sum_{i=1}^n (q_i)^{\alpha_i}, \text{ если } q_j \in Q^n \mid q_j \geq 1, j=\overline{1, m}, \quad (2)$$

где  $q_i$  – нормированное значение  $i$  существенного показателя;  $\alpha_i$  – коэффициент весомости  $i$  существенного показателя.

Если хотя бы один из существенных показателей не реализован, ОПК рассчитывается по наихудшему показателю с учетом степени выполнения остальных показателей условно-альтернативной группы, то есть:

$$\text{ОПК} = \min_{i \in v} (q_i)^{\alpha_i}, \text{ если } q_j \in Q^n \mid q_j \geq 1, j=\overline{1, m}, \quad (3)$$

где  $v$  – количество существенных показателей не удовлетворяющие требованиям ТТЗ (их абсолютные значения меньше значений базового образца, или относительное значение меньше единицы).

В зависимости от того какие значения будут принимать элементы множества несущественных показателей, ОПК либо не будет изменяться, либо будет домножаться на соответствующий сомножитель –  $\min_{j \in z} (q_j)^{\alpha_j}$ , где  $z$  – количество несущественных показателей не удовлетворяющих требованиям ТТЗ. Модель расчета ОПК представлена на рисунке.

Исходные данные:

$X = \{x_k\}$  – множество показателей разрабатываемого образца;

$k = \overline{1, b}$ ,  $b=n+m$ ;

$X = \{x_k^*\}$  – множество показателей базового образца;

$R = \{r_{yxk}\}$  – множество значений коэффициентов корреляции показателей и стоимости образцов.



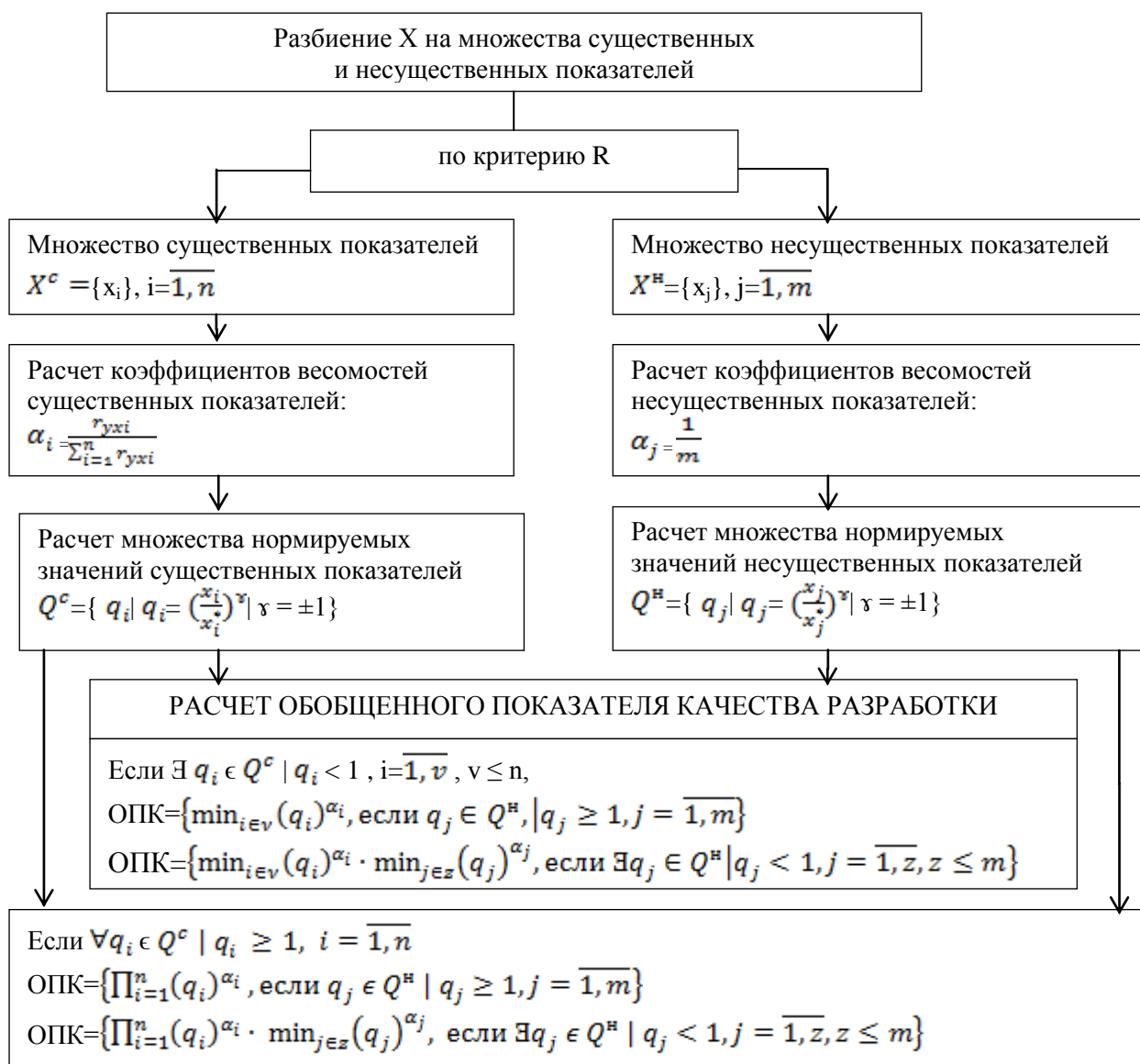


Рис. Модель расчета обобщенного показателя качества разработки

Найти ОПК:

1. Для устранения существующих недостатков при расчете ОПК предложена модель его расчета только по множеству существенных показателей, выделяемых из всего множества показателей, задаваемых в ТТЗ и наиболее полно влияющих на эффективность использования изделия по назначению. Определять существенные показатели целесообразно по критерию коэффициента корреляции «затраты-показатель» на основе статистической информации. При этом нижней границей для оценки статистической значимости получаемых коэффициентов корреляции может быть принято значение доверительной вероятности, равное 0,8. Для получения достоверных значений коэффициентов корреляции объем статической выборки должен включать не менее пяти образцов пожарной техники, что несколько ограничивает возможность предложенного подхода для некоторых типов образцов.

2. Для образцов пожарной техники должен устанавливаться ОПК в виде некоторого количественного значения, определяемого отношением совокупности значений существенных показателей к их базовым значениям. В качестве исходной базы сравнения возможно принять совокупность показателей, устанавливаемых в виде требований в ТТЗ, и на дифференцированном учете влияния на эффективность создаваемого изделия степени

превышения фактически достигнутых значений показателей над заданными в ТТЗ. Правомерность принятия в качестве базы сравнения гипотетического образца, характеризующего совокупностью требований, установленных в ТТЗ, определяется принятой системой формирования этих требований в соответствии с нормативными документами системы ОТТ, стандартами и нормативами перспективного уровня развития создаваемой техники.

3. Существенные показатели целесообразно задавать в ТТЗ при постановке научно-исследовательских работ и ОКР. Эти показатели необходимо вносить в тематические карточки (заявки заказчика), а также в ТТЗ наряду с остальными показателями.

4. Фактически ОПК должен рассчитываться только по существенным показателям (формулы 2, 3) с учетом выполнения или перевыполнения значений несущественных показателей. При перевыполнении разработчиком существенных показателей, установленных заказчиком, ему следует оценить затраты, повлекшие это перевыполнение, и если они превосходят лимитную цену, необходимо стимулировать принятие прогрессивных решений и внедрение новейших достижений науки и техники, обеспечивающих превышение заданного в ТТЗ уровня отдельных значений показателей, оказывающих наиболее существенное влияние на эффективность разрабатываемых изделий, с отражением в ОПК меры указанных превышений, поощряя разработчика или отдавая ему приоритет в разработке техники на конкурсной основе.

5. В случаях невозможности реализации значений существенных показателей, вследствие ограниченного финансирования, недостаточной научной проработки, невозможности на современном этапе их промышленной реализации, можно допустить их изменение, но только с разрешения органов, утвердивших первичный плановый документ, содержащий эти показатели. При этом ОПК разрабатываемого образца будет несколько хуже ранее планируемого.

### **Литература**

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные подходы повышения эффективности разработок образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 224–226.

2. Классификационные модели и методы принятия решений в системах создания и освоения новой техники. М.: ВНИИ «Электростандарт», 1991. 128 с.

3. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Расчет вероятности возникновения пожара от электрического изделия // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 50–59.

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проанализированы проблемы выбора видов и анализ содержания информационной поддержки теплофизических расчетов в обеспечении пожарной безопасности. Приведен обобщенный алгоритм таких расчетов, представлены результаты опроса о приоритетах

в содержании их информационной поддержки, предложена структура справочного пособия «Пожарная теплофизика».

*Ключевые слова:* интерактивный комплекс, информационная поддержка, задачи пожарной безопасности, теплофизический расчет, теплофизические свойства материалов, справочное пособие

## THERMOPHYSICAL CALCULATIONS INFORMATION SUPPORT IN FIRE SAFETY ENSURING

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

We analyzed the problem of choosing kinds and the analysis of the content of the information support of thermophysical calculations in fire safety ensuring. We provide generalized algorithm of such calculations, results of the survey on the priorities of the content of their information support and we offer the «Fire thermal physics» handbook structure.

*Keywords:* interactive complex, information support, fire safety tasks, thermophysical calculations, thermophysical properties of materials, reference book

Существенная часть задач пожарной безопасности предполагает проведение теплофизических расчетов [1]. К таким задачам можно отнести:

- определение безопасных расстояний и допустимой продолжительности при работе на пожаре личного состава в зоне интенсивного теплового излучения;
- определение величины противопожарных разрывов между объектами;
- определение температуры на необогреваемой поверхности противопожарной преграды в условиях длительного пожара и на его начальной стадии;
- определение времени прогрева противопожарной преграды на начальной стадии пожара до допустимого значения температуры на необогреваемой поверхности;
- определение времени прогрева арматуры несущих колонн на начальной стадии пожара до допустимого значения ее температуры;
- определение избыточного давления взрыва для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом;
- расчет горизонтальных размеров зон, ограничивающих газо- и паровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), при аварийном поступлении горючих газов и паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей в открытое пространство;
- расчет величины индивидуального риска на наружных установках при возникновении таких поражающих факторов, как избыточное давление, развиваемое при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей, и тепловое излучение при сгорании веществ и материалов.

Обобщенный алгоритм проведения подобных расчетов представлен на рис. 1.

Анализ содержания представленных задач, а также структурные связи обобщенного алгоритма их решения предполагает наличие необходимого информационного обеспечения в части представления:

- экспериментальных значений физических параметров (удельной изобарной и изохорной теплоемкостей, коэффициента теплопроводности, кинематической вязкости, числа Прандтля) продуктов горения, сухого воздуха и паров воды в зависимости от температуры и давления;

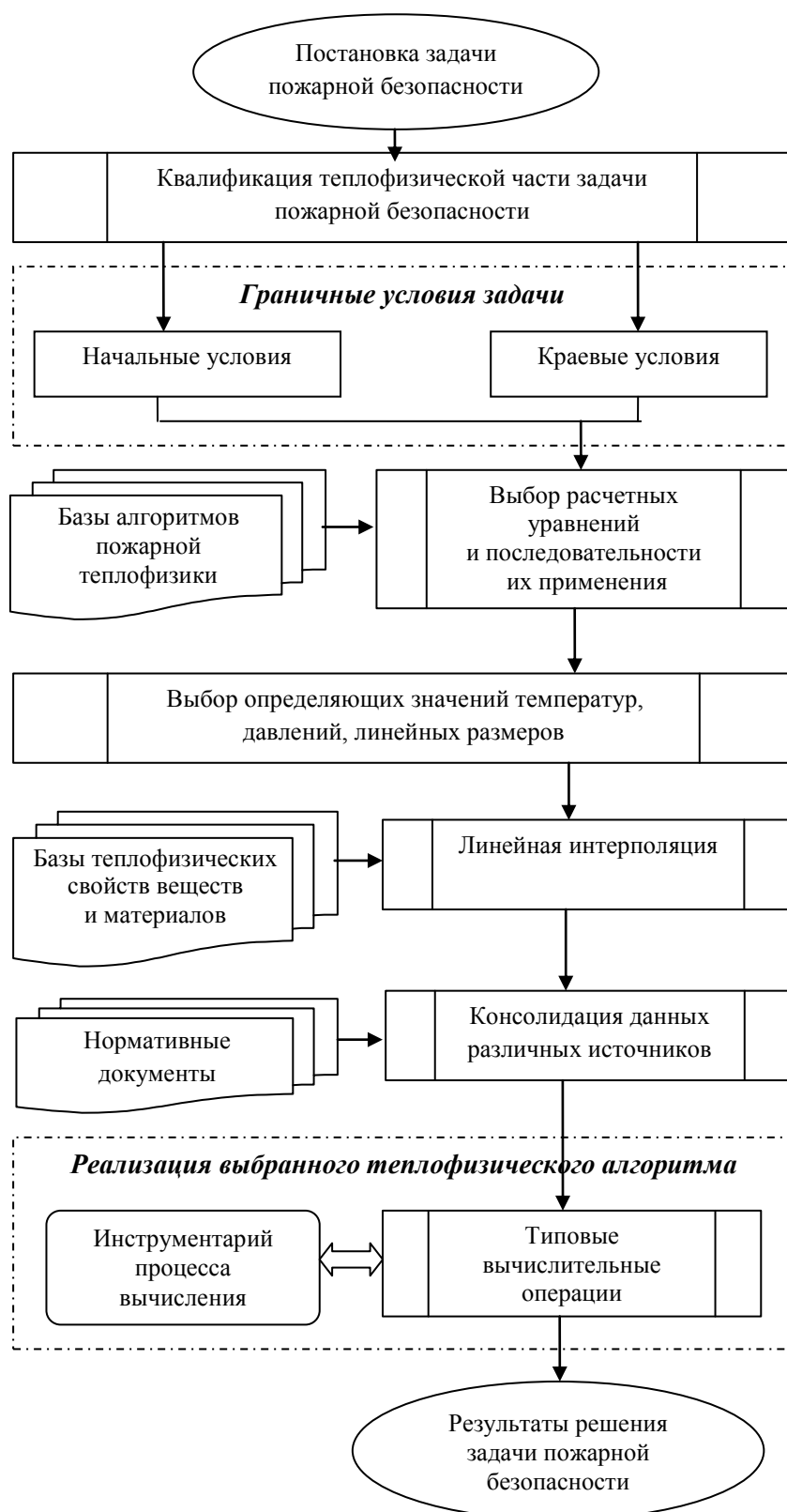


Рис. 1. Обобщенный алгоритм теплофизических расчетов при решении задачи пожарной безопасности

– концентрационных пределов распространения некоторых газов, критической температуры и критического давления, удельной теплоты горения, нижних и верхних концентрационных пределов воспламенения некоторых веществ;

– максимальной температуры инверсии, давления дросселирования и давления насыщения некоторых хладагентов, используемых в качестве огнетушащих веществ в установках автоматической пожарной защиты;

– экспериментальных значений теплофизических свойств (коэффициент теплопроводности, температурный коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, температурный коэффициент теплоемкости, плотность) строительных, конструкционных, теплоизоляционных и огнеупорных материалов;

– степень черноты, допустимую температуру, критическую плотность теплового потока, при которых происходит самовоспламенение горючих материалов.

Возникает вопрос о приоритетной форме представления справочных материалов, однако опрос выпускников Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы (СПбУ ГПС) МЧС России, занимающихся нормативно-технической работой, не позволил сделать однозначный вывод (43 % предпочли виртуальную форму, 57 % – традиционную, то есть бумажную), однако определилась необходимость систематизированной информации, которая бы содержала:

– основные понятия и определения, на которых базируются теплофизические расчеты;

– наиболее распространенные уравнения технической термодинамики и теплопередачи в пожарном деле;

– алгоритмы и примеры некоторых теплофизических расчетов, а также примеры интерполяции и применения метода наименьших квадратов;

– некоторые физические постоянные (универсальная газовая постоянная, постоянная Больцмана, число Авогадро, коэффициент излучения абсолютно черного тела);

– соотношения между единицами СИ и внесистемными единицами температуры, давления, количества тепла, тепловой производительности.

Кроме того, в [2, 4–6] было доказано, что поиск необходимых расчетных уравнений можно облегчить, если структурировать необходимую информацию в табличную форму. Пример фрагмента такой таблицы представлен ниже.

Таблица. Уравнения изменения состояния газа при перемещениях

Наименование уравнения	Отображение уравнения
Время истечения газа из баллона в критическом режиме	$\tau_1 = \frac{2,303V_o}{\mu f \psi_{\max} \sqrt{RT_1}} \lg \left( \frac{P_o}{P_{кр}} \right)$
$V_o$ – удельный объем газа в среде; $P_o$ – давление газа в среде; $P_{кр}$ – давление газа в баллоне; $f$ – площадь поперечного сечения сопла; $\mu$ – коэффициент расхода сопла; $\psi_{\max}=0,685$ ; $R=8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль}K)$ – универсальная газовая постоянная; $T_1$ – абсолютная температура газа в баллоне	

Представленная структура была реализована авторами в виде справочного пособия «Пожарная теплофизика»,  $\beta$ -версия которого в формате \*.pdf активно использовалась в своей практической деятельности сотрудниками исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности СПбУ ГПС МЧС России, а также курсантами и слушателями специальности «Пожарная безопасность» при выполнении расчетно-графических работ и обработке результатов лабораторных экспериментов по дисциплине «Специальные главы теплотехники».

Однако традиционная, так называемая «бумажная», форма информационного обеспечения проведения теплофизических расчетов при решении задач пожарной

безопасности не решает проблемы оперативного представления необходимых нормативных материалов, в которых фиксируются важные параметры, примерами которых могут служить:

- предельно допустимое количество пожарной нагрузки на одном участке и наибольшая площадь участка ее размещения (локального пожара) в помещениях;

- рекомендуемые значения предельных расстояний в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов;

- рекомендуемые значения максимально безопасной (допустимой) площади аварийного разлива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, в том числе ограниченной устройствами против растекания жидкости, в зависимости от массы разлившейся жидкости и расстояния от зеркала жидкости до низа несущих конструкций перекрытия (покрытия).

Эти и некоторые другие параметры лежат в основе проводимых теплофизических расчетов и приводятся в руководящих документах (прежде всего норм пожарной безопасности), содержание которых может изменяться от редакции к редакции. Решение проблемы оперативного представления необходимых справочных материалов лежит в двух плоскостях:

- размещение в глобальной сети INTERNET специального ресурса, отражающего текущее состояние нормативной документации;

- создание виртуальной версии справочного пособия «Пожарная теплофизика», содержание которого можно корректировать при изменении действующих нормативных документов и дополнять при появлении новых.

Один из вариантов реализации оперативной информационной поддержки разработанный сотрудниками исследовательского центра экспертизы пожаров СПбУ ГПС МЧС России, размещен по адресу [www.expert.igps.ru](http://www.expert.igps.ru) и поддерживает, в том числе, вычисления, связанные с реконструкцией процесса возникновения пожара. Портал представляет собой модульную объектно-ориентированную динамическую обучающую среду, однако свободный доступ к ней сотрудникам университета и обучающимся ограничен.

Второй вариант реализован в качестве теплотехнического справочника виртуальной версии справочного пособия «Пожарная теплофизика» и включен в состав интерактивного комплекса информационно-методической поддержки внеаудиторной самостоятельной работы «Термодинамика и теплопередача» [3]. При интеграции справочного пособия информативная составляющая была сохранена, а применяемые гипертекстовые технологии упростили процесс поиска необходимой информации. Иерархическая структура такого теплотехнического справочника представлена на рис. 2, а версия его многооконного интерфейса – на рис. 3.

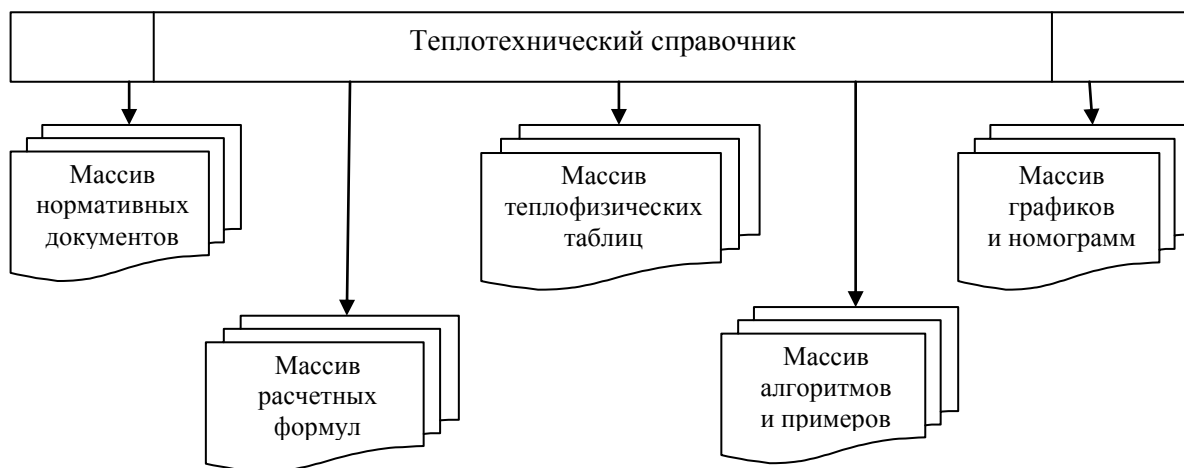


Рис. 2. Иерархическая структура теплотехнического справочника

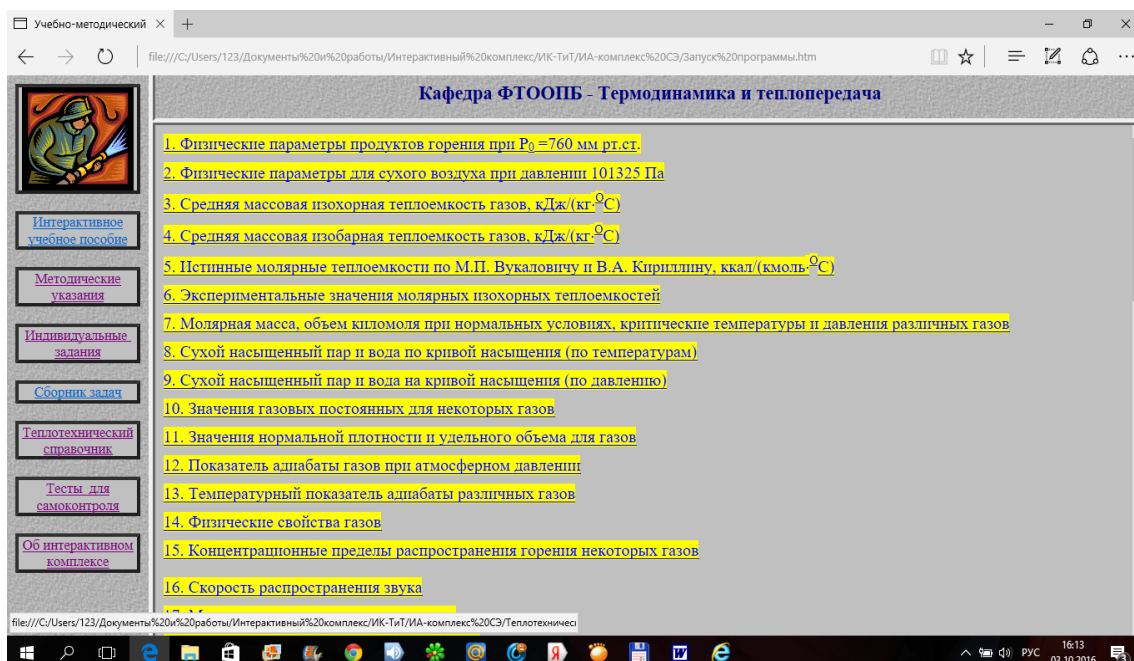


Рис. 3. Пример многооконного интерфейса доступа к массиву теплотехнических таблиц

Отзывы пользователей позволяют сделать следующие выводы:

- структура теплотехнического справочника адекватно отражает их потребности к информационной поддержке процесса теплофизических расчетов при решении задач пожарной безопасности;
- поскольку представленный виртуальный теплотехнический справочник является составной частью интерактивного комплекса информационно-методической поддержки внеаудиторной самостоятельной работы, скорость обращения практических работников к информационным массивам уменьшена из-за многочисленных и объемных опций, непосредственно не относящихся к процессам теплофизических расчетов (собственно теплотехнический справочник занимает 3,6 Мбайт из 140 Мбайт всего объема интерактивного комплекса);
- представляется целесообразным разработка виртуального теплотехнического справочника в виде отдельной страницы и его размещение в глобальной сети INTERNET на условиях свободного доступа.

## Литература

1. Application of informative technologies and calculative methods in the forensic normative expertise and in professional education of forensic experts / S.F. Kondratyev [and etc.]: 4th International Scientific Conference on Safety Engineering and 14th International Conference on Fire and Explosion Protection. Republic of Serbia. Novi Sad, 2014. С. 110–118.
2. Марон А.Е., Монахова Л.Ю., Алексеенко И.А. Информационная поддержка системы непрерывного открытого образования взрослых // Образование: ресурсы развития. Вестник ЛОИРО. 2011. № 2. С. 51–55.
3. Кузьмин А.А., Романов Н.Н. О проблемах выбора программного инструментария при формировании оболочки интерактивного комплекса информационно-методической поддержки внеаудиторной самостоятельной работы // Природные и техногенные риски (Физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 4. С. 45–50.
4. Solodov A., Ochkov V. Differential Models. An Introduction with Mathcad. Springer-Verlag, 2004.
5. Dash L., Chatterji B.N. Adaptive contrast enhancement and de-enhancement // Pattern Recognition. 1992. V. 24. № 4. P. 289–302.

6. Sheremetyeva T.A. Method of representation of remote sensing data that facilitates visual interpretation // Proceedings of the 5th International Conference on Space Optics (ICSO 2004). SP-554. Toulouse. France.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ**

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности использования нейронных сетей для решения задач классификации. Представлены результаты формального описания системы классификации с использованием самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена. Разработана компьютерная модель системы классификации, реализованная в виде программы для ЭВМ, позволяющей визуализировать результаты классификации.

*Ключевые слова:* кластерный анализ, система классификации, искусственная нейронная сеть, компьютерная программа, математическая модель

## **THE SPECIAL FEATURE OF EMPLOYMENT THE NEURAL NETWORKS FOR SOLUTION THE CLASSIFICATION TASKS**

A.Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article presents the special feature of employment the neural network for solution the classification tasks. Present the result of formally description the system of classification with use the self-organizing neural networks.

*Keywords:* cluster analysis, system of classification, synthetic neural networks, computer program, mathematical model

Методом решения задачи классификации является группировка первичных данных (изучаемых объектов) [1]. Для решения задач классификации при наличии нескольких признаков, описывающих исследуемые объекты, традиционно используются методы кластерного анализа, которые отличаются от других методов многомерной классификации отсутствием обучающих выборок, то есть априорной информации о распределении значений свойств исследуемых объектов. Методы кластерного анализа (кластеризации) позволяют разделить изучаемую совокупность на группы «похожих» объектов, называемые кластерами [1]. Критерием качества классификации может служить возможность содержательной интерпретации найденных групп (кластеров). Однако методы кластерного анализа не дают какого-либо способа проверки статистической гипотезы об адекватности полученных классификаций. Иногда результаты кластеризации можно обосновать с помощью методов дискриминантного анализа [1].

В задачах кластерного анализа обычной формой представления исходных данных является прямоугольная таблица, содержащая  $N$  столбцов, элементы которой представляют собой значения, полученные в результате измерения  $N$  признаков исследуемых объектов. Другим способом представления исходных данных является матрица, содержащая элементы, числовые значения которых определяют меру близости сравниваемых объектов.



Методы кластеризации различаются способом определения меры близости между сравниваемыми объектами  $X_i$  и  $X_j$ . В кластерном анализе используются различные метрики или меры близости сравниваемых объектов [2].

*Расстояние Махаланобиса.* В случае зависимых компонент  $x_1, x_2, \dots, x_k$  вектора наблюдений  $X$  используется обобщенное расстояние Махаланобиса, вычисляемое по формуле:

$$R(X_i, X_j) = \sqrt{\{(X_i - X_j)^T * W^T / \Sigma[W * (X_i - X_j)]\}},$$

где  $W$  – некоторая симметрическая неотрицательно-определенная матрица весовых коэффициентов. Следующие меры близости сравниваемых объектов являются частными случаями расстояния Махаланобиса.

*Обычное Евклидово расстояние.* Используется для случая, когда компоненты вектора  $X$  однородны и одинаково важны для классификации и вычисляется по формуле:

$$R(X_i, X_j) = \sqrt{\Sigma (X_i - X_j)^2}.$$

*Взвешенное Евклидово расстояние.* Используется для случая, когда каждой компоненте вектора  $X$  можно приписать некоторый «вес»  $P_k$ , пропорциональный степени важности признака в задаче классификации, и вычисляется по формуле:

$$R(X_i, X_j) = \sqrt{\Sigma [P_k * (X_i - X_j)^2]}.$$

*Хеммингово расстояние.* Используется как мера различия объектов, задаваемых дихотомическими признаками, и вычисляется по формуле:

$$R(X_i, X_j) = \Sigma |X_i - X_j|.$$

Самоорганизующиеся нейронные сети Кохонена могут быть использованы для кластерного анализа только в том случае, если заранее известно число кластеров. Особенностью нейронных сетей Кохонена является устойчивость к зашумленным данным, а также быстрое обучение и возможность упрощения восприятия многомерных входных данных с помощью визуализации [3].

Нейронная сеть Кохонена обучается без учителя за счет самоорганизации. Количество нейронов сети определяется той степенью подробности, с которой требуется выполнить кластеризацию. Нейронная сеть Кохонена для наглядности может быть представлена в виде двумерного изображения (карты), в связи с чем для сетей Кохонена часто используется другое название – самоорганизующиеся карты (Self-Organizing Maps – SOM) [3]. Схема нейронной сети Кохонена представлена на рис. 1.

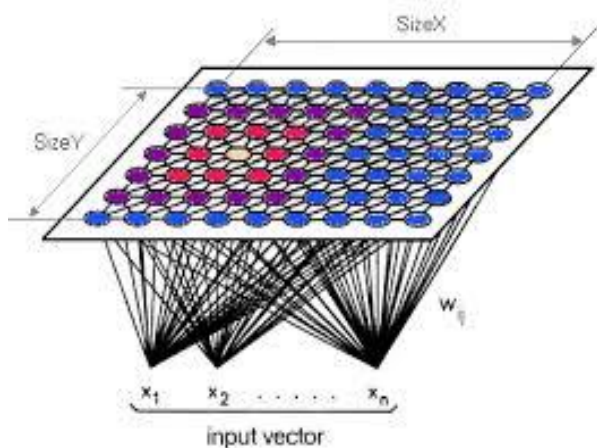


Рис. 1. Схема нейронной сети Кохонена

Нейронная сеть Кохонена должна иметь число выходов, равное числу кластеров. В качестве меры близости сравниваемых объектов используется Евклидово расстояние. В этом случае центр кластера, минимизирующий сумму мер близости для объектов этого кластера, совпадает с центром тяжести сравниваемых объектов.

Каждый нейрон в сети Кохонена запоминает один центр кластера и отвечает за определение объектов в своем кластере, то есть величина выхода нейрона тем больше, чем ближе объект к данному центру кластера. Общее количество нейронов скрытого слоя в сети Кохонена совпадает с количеством кластеров. С помощью изменения количества нейронов скрытого слоя можно динамически менять количество кластеров.

Вектор входных данных в сети Кохонена обычно нормируется путем расположения компонентов вектора на отрезке  $[0, 1]$ . В этом случае каждый выход можно будет трактовать как вероятность того, что объект принадлежит данному кластеру.

Для запуска алгоритма классификации необходимо задать начальные значения весовых коэффициентов нейронной сети, что может быть выполнено несколькими способами, в том числе [4]:

- задание значений весовых коэффициентов путем присваивания случайных чисел;
- задание значений весовых коэффициентов путем присваивания случайных значений входных данных.

Обучение нейронной сети Кохонена происходит в процессе самоорганизации, состоящей в модификации весовых коэффициентов с использованием вектора обучающей выборки. Значения элементов вектора обучающей выборки последовательно поступают на вход нейронной сети, и каждый раз происходит корректировка весовых коэффициентов. Нейронная сеть Кохонена может обучаться и на искаженных данных входных векторов. Если искажения данных не носят систематический характер, то в процессе обучения искаженные данные сглаживаются.

Вариант алгоритма классификации с использованием сети Кохонена может быть записан следующим образом [4]:

1. Инициализация начальных значений весовых коэффициентов нейронной сети  $W_{ij}$ .
2. Цикл по количеству сравниваемых объектов.
3. Для каждого сравниваемого объекта вычисление меры близости:

$$L_j = D(W_{ij}, X_{ij}) = \|W_{ij} - X_{ij}\|,$$

где  $D$  – мера расстояния (близости).

4. Корректировка значений весовых коэффициентов нейронной сети:

$$W_{ij} = W_{ij} + \alpha * (W_{ij} - X_{ij}),$$

где коэффициент  $0 < \alpha < 1$ .

5. Минимизация целевой функции:

$$\min \sum D^2(X_{ij}, W(X_{ij})).$$

6. Конец цикла по количеству сравниваемых объектов.

Алгоритм выполняется до тех пор, пока весовые коэффициенты  $W_{ij}$  не перестанут изменяться.

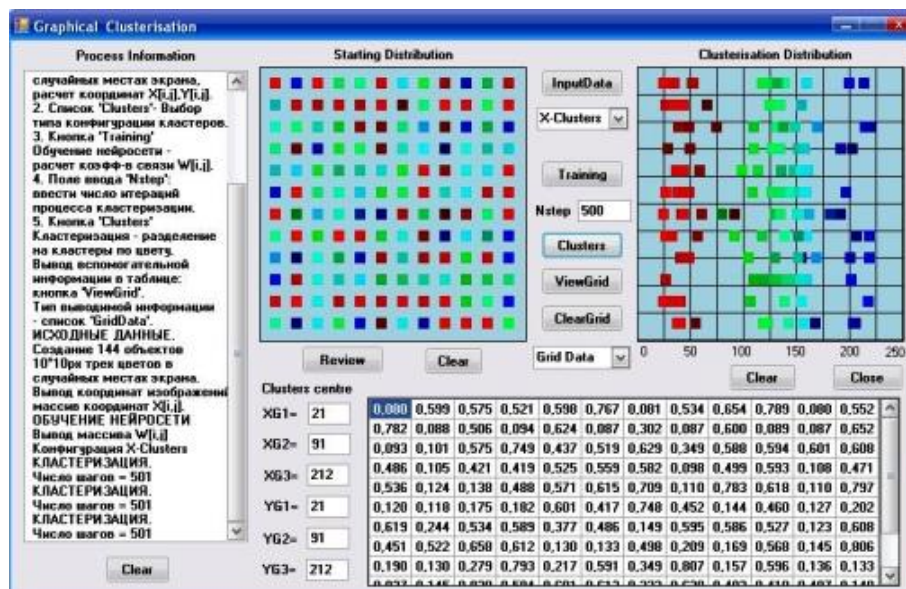
### **Компьютерная модель системы классификации**

В целях решения задачи классификации была создана компьютерная модель искусственной самообучающейся нейронной сети Кохонена. С использованием разработанной модели производилась классификация путем разбиения на три кластера 144-х графических объектов размером  $10*10$  пикселей трех цветов (цветовая модель RGB), размещенных случайным образом в пределах прямоугольной области размером  $250*250$  пикселей. В качестве

центров кластеров были выбраны центры абсцисс трех прямоугольных областей размером  $(250/3)*250$  пикселей.

Целью обучения искусственной нейронной сети являлось получение таких значений коэффициентов связи нейронов сети (синаптических весов), которые обеспечивают для множества значений входных данных требуемую степень минимизации целевой функции. Корректировка значений весовых коэффициентов нейронной сети производится по приведенной выше формуле.

Рассмотренная компьютерная модель искусственной нейронной сети была реализована в виде программы для ЭВМ, интерфейс которой представлен на рис. 2.



**Рис. 2. Интерфейс программы классификации с помощью нейронной сети**

Процесс классификации объектов трех типов (кластеризации) наглядно представлен в двух окнах графического вывода (рис. 2). В левом окне представлены исходные данные – 144 графических объекта размером 10\*10 пикселей трех цветов в цветовой модели RGB. В правом окне представлены результаты классификации путем разбиения совокупности объектов на три кластера. Программа классификации позволяет задавать несколько конфигураций областей кластеров. Примеры классификации для двух конфигураций областей кластеров представлены на рис. 3.

На левом фрагменте в качестве центров кластеров выбраны центры абсцисс трех прямоугольных областей размером  $(250/3)*250$  пикселей.

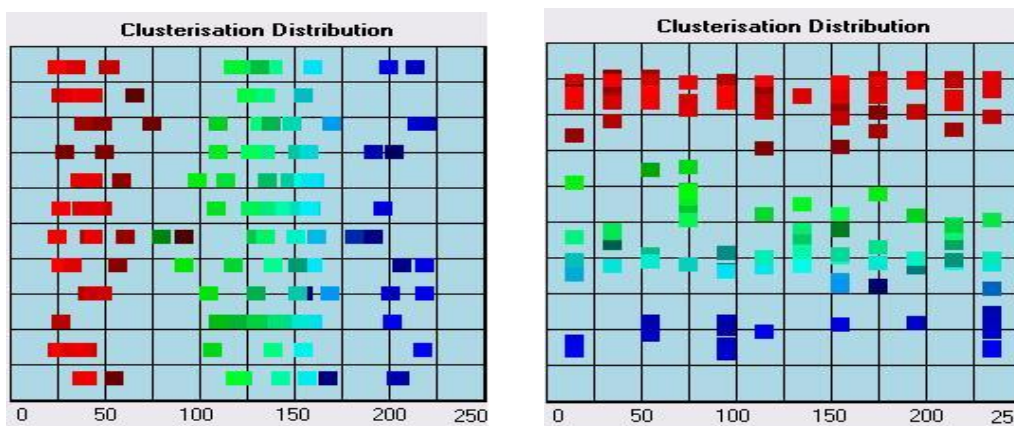


Рис. 3. Примеры кластеризации 144 графических объектов по трем признакам



На правом фрагменте в качестве центров кластеров выбраны центры ординат трех прямоугольных областей размером  $250 \times (250/3)$  пикселей.

Программа позволяет задавать квадратную конфигурацию областей кластеров. Пример кластеризации 144 объектов трех типов представлен на рис. 4.

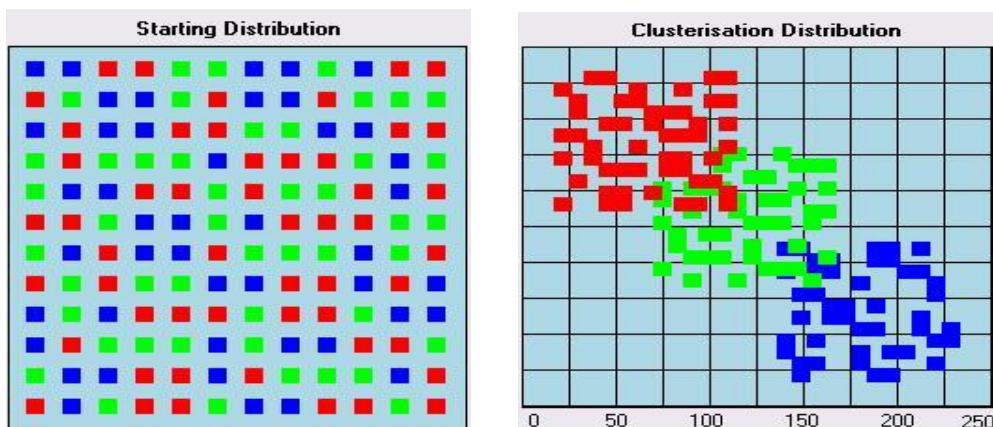


Рис. 4. Слева исходные данные – 144 объекта, справа результат классификации по трем признакам

Возможна классификация объектов шести типов. Примеры кластеризации 144 графических объектов по шести признакам представлены на рис. 5.

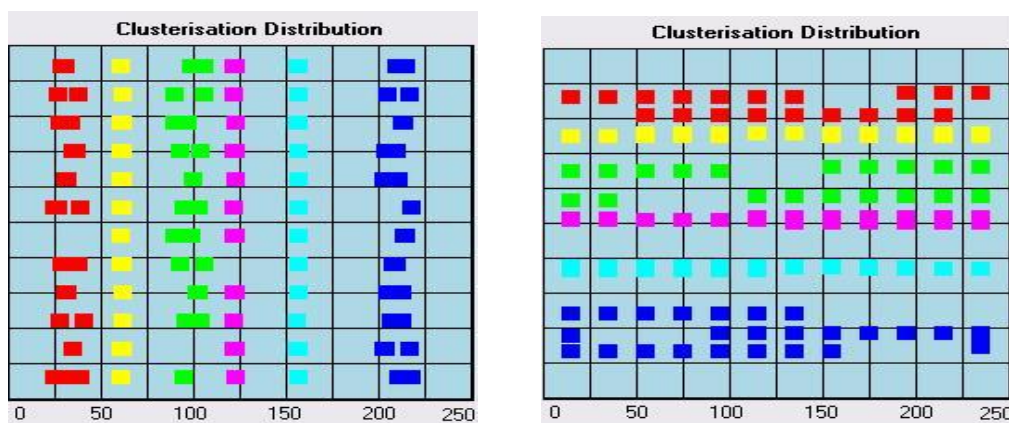


Рис. 5. Примеры кластеризации 144 объектов по шести признакам: слева вертикальная, справа горизонтальная конфигурация кластеров

Пример классификации 144 графических объектов по восьми признакам для случая квадратной конфигурации областей кластеров представлен на рис. 6.

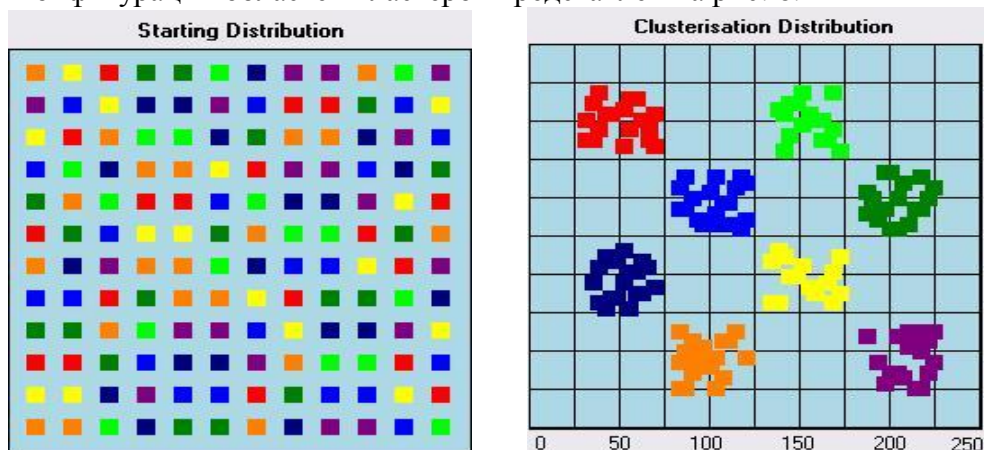


Рис. 6. Слева исходные данные – 144 объекта, справа результат классификации по восьми признакам

Разработанная программа классификации позволяет проводить классификацию до 600 объектов с максимальным количеством признаков 25.

Пример классификации 576 объектов по 24 признакам представлен на рис. 7.

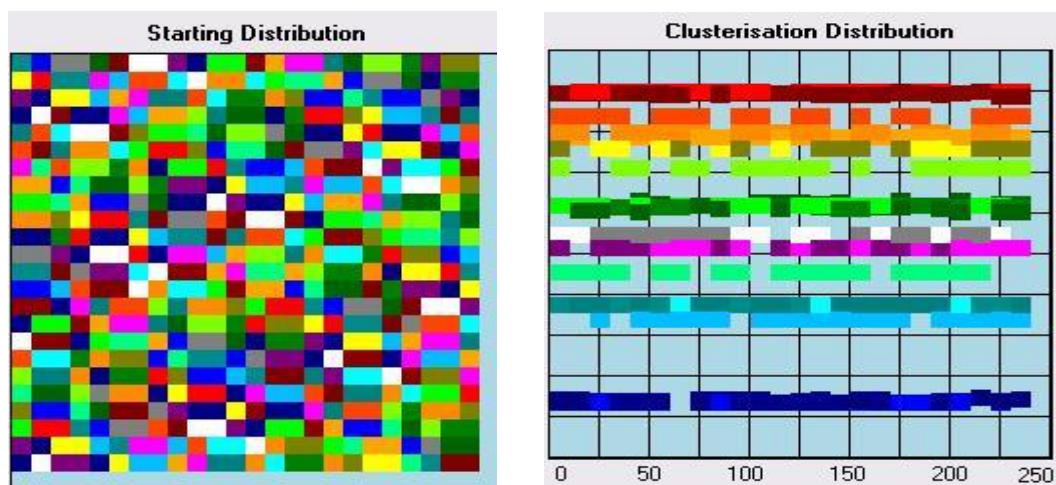


Рис. 7. Слева исходные данные – 576 объектов, справа результат классификации по 24 признакам

В задачах кластерного анализа классификационные признаки могут принимать как непрерывные, так и дискретные значения, включая бинарное представление. В случае непрерывных значений признаков необходима нормализация входных значений путем приведения к заданному диапазону (a, b), где для цветовой модели RGB: a=0, b=255. Нормализация может быть выполнена по формуле:

$$X^* = a + (b - a) * (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}),$$

где  $X$  – исходное входное значение;  $X^*$  – нормализованное входное значение в диапазоне (a, b). Далее необходимо определить количество предполагаемых кластеров и выполнить цветное кодирование признаков.

В случае бинарного представления значений классификационных признаков цветное кодирование может быть выполнено следующим образом. Пусть число признаков, условно разделенных на три группы, равно 24. Тогда RGB-компонента одной группы из восьми признаков может принимать значения в диапазоне от 0 до 255, вычисленные по формуле:

$$Z_{\text{RGB}} = \sum_{i=0}^7 a_i * 2^i,$$

где  $a_i$  – значение признака (0 или 1),  $i$  меняется от 0 до 7.

На рис. 8 представлено цветное кодирование 24 бинарных признаков в цветовой модели RGB, выполненное в разработанной программе.

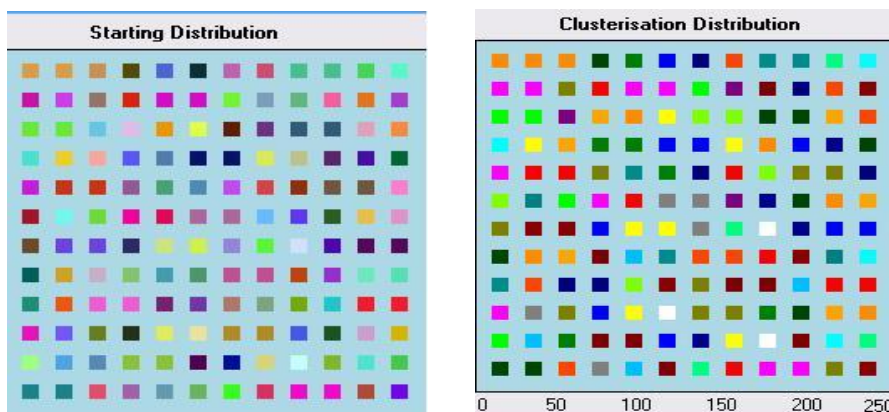


Рис. 8. Цветовое кодирование 144 объектов по 24 признакам

На рис. 8 слева представлены исходные данные в цветовой модели RGB, справа представлен результат цветового кодирования по 24 базовым цветам.

Таким образом, искусственные самообучающиеся нейронные сети Кохонена способны не только производить классификацию, но и путем преобразования n-мерного пространства в двумерное успешно решать проблему отображения пространственных структур большой размерности.

Результаты компьютерных экспериментов показали, что созданная компьютерная модель искусственной самоорганизующейся нейронной сети способна обеспечить классификацию до 600 графических объектов, имеющих от 3 до 24 классификационных признаков, путем разбиения на кластеры нескольких конфигураций и представлять результаты классификации в наглядном графическом виде. Компьютерная модель может производить цветовое кодирование 24 бинарных признаков в цветовой модели RGB.

### **Литература**

1. Енюков И.С. Методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1986.
2. Кендэлл М., Стюарт А. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006.
4. Ханжулин В.Г., Кудряшов Д.С. Нейронные сети Кохонена в кластерном анализе данных. М., 2011.

## **РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ELCUT 6.3**

**Д.А. Минкин, кандидат технических наук;**

**А.С. Константинова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрено влияние локальных повреждений огнезащитного покрытия на предел огнестойкости металлической конструкции, проведен сравнительный анализ различных видов повреждений на основании моделирования температурного поля внутри сечения конструкции с помощью программного комплекса ELCUT 6.3.

*Ключевые слова:* огнестойкость, огнезащита, металлическая конструкция, ELCUT 6.3

## **CALCULATION OF THE INFLUENCE OF LOCAL DAMAGE OF FIRE RETARDANT COATING FOR FIRE RESISTANCE OF STEEL STRUCTURES USING SOFTWARE COMPLEX ELCUT 6.3**

**D.A. Minkin; A.S. Konstantinova.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The article considers the influence of local damage of fire retardant coating for fire resistance of metal structures, a comparative analysis of various types of damage based

on the simulation of the temperature field within the cross section of the design with the help of software complex ELCUT 6.3.

*Keywords:* fire resistance, fire protection, steel structure, ELCUT 6.3

Предел огнестойкости строительной конструкции оказывает непосредственное влияние на возможное время эвакуации людей в случае пожара и, следовательно, на их безопасность, сохранение жизни и здоровья. Ошибочное определение предела огнестойкости строительной конструкции, значительное расхождение теоретических данных с фактическими показателями может повлечь за собой катастрофические последствия.

Реальные вариации состояния строительных конструкций слишком многообразны, чтобы все их можно было описать какими-либо стандартными закономерностями с достаточной точностью. Однако, имея в распоряжении современные программные средства, целесообразно использовать их для обеспечения как можно более точного прогнозирования развития опасных факторов пожара для каждого конкретного случая.

Целью исследования, которому посвящена данная статья, являлось определение влияния размера локального повреждения огнезащитного покрытия на режим прогрева стальной строительной конструкции в условиях пожара и предел ее огнестойкости с помощью моделирования изменения температурного поля по сечению конструкции с применением программы ELCUT 6.3.

Задачами исследования являлись:

- выделение наиболее типичных повреждений огнезащитного покрытия;
- сравнение пределов огнестойкости металлической конструкции, защищенной огнезащитным покрытием, и не покрытой огнезащитными составами;
- сравнение температурных режимов прогрева металлической конструкции, защищенной неповрежденным огнезащитным покрытием и покрытием, имеющим локальное повреждение;
- выработка рекомендаций для сотрудников контролирующих органов.

Огнестойкость характеризует способность строительной конструкции сопротивляться воздействию пожара, сохраняя при этом свои эксплуатационные функции (несущую или ограждающую способность). Параметром огнестойкости является предел огнестойкости, то есть время в минутах от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного или нескольких признаков предельных состояний, нормируемых для данной конструкции:

- потеря несущей способности (R);
- потеря целостности (E);
- потеря теплоизолирующей способности (I).

Требования к огнестойкости строительных конструкций установлены в нормативных документах по пожарной безопасности (СП 2.13130.2012, СП 4.13130.2013) и зависят от ряда факторов, таких как класс функциональной пожарной опасности здания, высота, этажность, площадь пожарного отсека, опасность происходящих в помещении технологических процессов и других. Предел огнестойкости конструкций оказывает непосредственное влияние на требуемое время эвакуации людей в случае пожара.

На огнестойкость строительной конструкции оказывают влияние материал, из которого она сделана, площадь ее поперечного сечения, геометрические параметры конструкции, а также наличие, вид и состояние огнезащитных покрытий.

В настоящей статье рассмотрены особенности огнестойкости металлических конструкций. Металл находит широкое распространение в практике строительства благодаря таким качествам, как высокая прочность, долговечность, способность воспринимать значительные нагрузки, удобство монтажа, сравнительная легкость (по сравнению с железобетонными конструкциями), транспортабельность, удобство в эксплуатации, ремонте и возможности реконструкции в случае необходимости. Вместе с тем, металлические конструкции обладают рядом недостатков, к которым относятся подверженность коррозии

и низкая огнестойкость при температурах выше 400 °С для сталей и выше 200 °С для алюминиевых сплавов. В среднем предел огнестойкости стальных конструкций составляет 15 мин.

При расчете предела огнестойкости металлических конструкций необходимо решить две задачи: статическую – определение критической температуры, и теплотехническую – определение времени прогрева конструкции до этой температуры.

Критическим значением температуры для различных марок стали считается 450–500 °С.

Огнестойкость строительных конструкций может быть существенно повышена путем применения различных огнезащитных покрытий. Каждый строительный материал имеет свои особенности нанесения таких покрытий.

Для защиты металлических конструкций могут использоваться следующие способы:

1. Облицовка несгораемыми материалами (бетонными плитками, керамическими материалами, штукатуркой, наносимой по металлической сетке) и т.д.

2. Нанесение огнезащитных покрытий – красок и обмазок.

3. Конструктивная огнезащита в виде огнезащитных теплоотражающих и теплоизолирующих экранов из базальтового рулонного полотна, минеральной ваты, покрытой фольгой и т.д.

4. Устройство защитных подвесных потолков – используется для защиты металлических конструкций, удерживающих покрытия (ферм), где непосредственная защита облицовками или огнезащитными покрытиями вызывает трудности из-за высокой трудоемкости и недостаточной надежности защиты узловых соединений.

5. Орошение металлических конструкций распыленной или тонкораспыленной водой.

6. Наполнение полых конструкций водой – данный способ относительно сложен в исполнении и используется, как правило, для защиты уникальных зданий.

Огнезащитные покрытия отнесены ст. 52 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (123-ФЗ) [1] к одному из обязательных способов защиты людей и имущества от опасных факторов пожара (ОФП).

Расчеты в данной работе производятся с помощью программы ELCUT 6.3. ELCUT – это интегрированная программная система, позволяющая решать плоские и осесимметричные задачи различных типов, в том числе задачи нестационарной теплопередачи (тепловые переходные процессы).

Формулировка задачи в ELCUT основывается на уравнении теплопроводности с граничными условиями радиационного и (или) конвективного теплообмена.

При постановке задачи можно использовать такие возможности, как задание теплопроводности и теплоемкости материалов, зависящие от температуры; описание температуры греющей среды функциональной зависимостью от времени; задание источников тепловыделения различными способами и другие. В качестве результатов решения задачи выводятся температура, градиент температуры, плотность теплового потока и интегральные значения теплового потока через заданные поверхности, кроме того, для нестационарной задачи можно сформировать графики и таблицы изменения физической величины в зависимости от времени. Интегральный калькулятор программы может вычислять различные интегральные значения на любых заданных линиях и поверхностях [2].

Полное математическое описание конкретной задачи включает в себя дифференциальное уравнение теплопроводности, а также начальные и граничные условия (заданные параметры, которые определяют особенности протекания процесса теплопередачи на границах тела). Аналитическое решение такой задачи представляет трудности из-за громоздкости вычислений. Наиболее просто подобные задачи решаются методом конечных разностей, суть которого заключается в замене дифференциального уравнения теплопроводности его конечно-разностным аналогом, заменяя дифференциалы конечными приращениями – то есть поперечное сечение конструкции разбивается на  $n$  малых элементов,



так же выбираются определенные временные интервалы, на момент которых будет производиться расчет [3].

В нашей задаче исходными данными являются:

- для греющей среды – закон изменения температуры по времени;
- коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между средой и поверхностью. В условиях пожара суммарный коэффициент теплоотдачи (по уравнениям конвективного и лучистого теплообмена) может быть вычислен по формуле:

$$\alpha_f = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot t_f},$$

где  $\alpha_f$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·°C;  $t_f$  – температура над факелом пламени, °C.

- для материала балки и огнезащитного покрытия – коэффициент теплопроводности  $\lambda$  [Вт/м·K], удельная теплоемкость  $C$  [Дж/кг·K], плотность  $\rho$  [кг/м<sup>3</sup>].

В качестве демонстрации порядка работы с программой проведем расчет режима прогрева металлической двутавровой балки без покрытий и аналогичной балки, защищенной огнезащитным покрытием. В качестве исходных данных примем материал балки – сталь марки 20, плотность  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость и теплопроводность задана функцией от температуры (рис. 1).

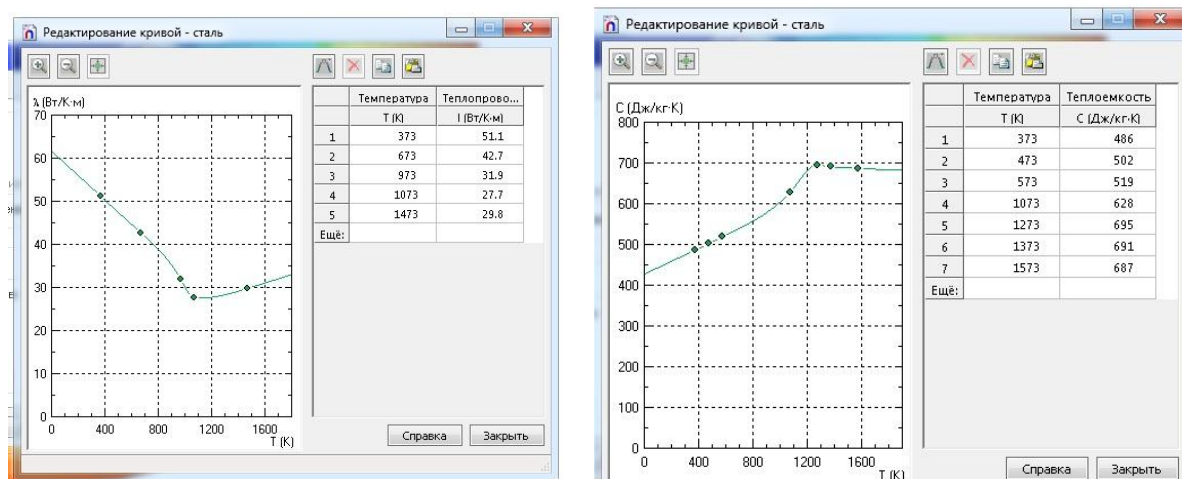


Рис. 1. Зависимости коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры

Зависимости данных показателей от температуры заданы согласно [4].

Температуру греющей среды зададим уравнением стандартного температурного режима, который определяется формулой (рис. 2).

$$T = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + T_{\text{нач}},$$

где  $T$  – температура среды в расчетный момент времени, К;  $\tau$  – время пожара, мин;

$T_{\text{нач}}$  – начальная температура в помещении, К.

Далее задаем геометрические параметры балки. Размеры примем согласно [5], профиль 20Б1. Внесем в ELCUT 6.3 изображение поперечного сечения двутавра (поскольку сечение является симметричным, рассмотрим только левую половину). Изображение сечения и геометрические размеры представлены на рис. 3.

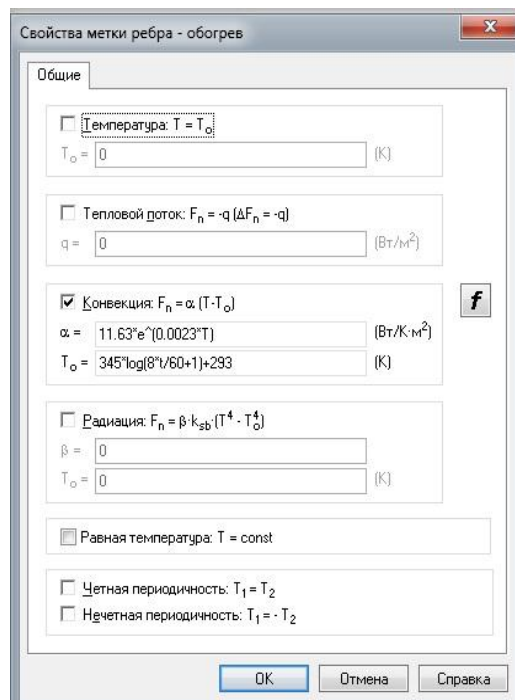


Рис. 2. Задание стандартного температурного режима и коэффициента теплоотдачи

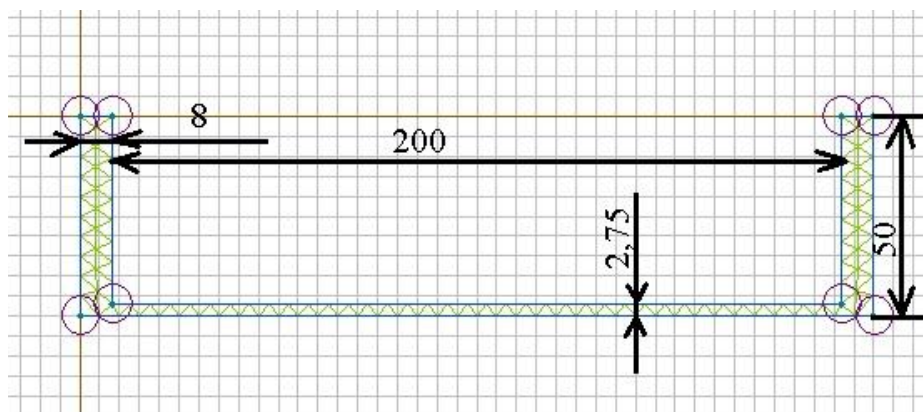


Рис. 3. Изображение сечения рассматриваемой балки в ELCUT 6.3

Произведем расчет температурного поля в сечении до момента достижения критической температуры. На графиках рис. 4 отображено распределение температуры на линии продольной оси двутавра на моменты времени шести и семи минут от начала прогрева.

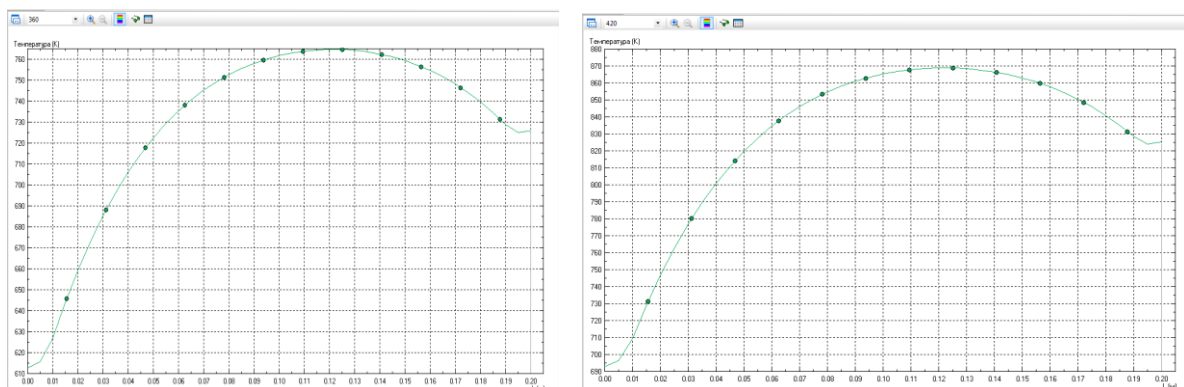


Рис. 4. Графики распределения температур по оси двутавра на моменты времени 6 и 7 мин

Как можно наблюдать из графиков, значение критической температуры по большей площади сечения достигается в промежутке от шести до семи минут прогрева.

Рассчитаем распределение температур внутри сечения той же балки при наличии огнезащитного покрытия. В качестве покрытия примем огнезащитную вспучивающуюся пасту ВЗО-9. Паста ВЗО-9 применяется для повышения огнестойкости металлических, пластмассовых и деревянных конструктивных элементов при воздействии пламени в течение не менее 15 мин.

Зададим характеристики защитного покрытия: коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,29$  Вт/м\*К, удельная теплоемкость  $C = 1320$  Дж/кг\*К, плотность  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Оптимальный слой нанесения данной пасты составляет примерно 3 мм, коэффициент вспенивания на интервале температуры от 200 до 250 °С составляет от трех до шести [6]. При расчете толщины защитного покрытия двутавра, предполагая, что уже произошло вспучивание пасты в результате воздействия высокой температуры, зададим равной 12 мм. График распределения температур на момент времени 15 мин представлен на рис. 5.

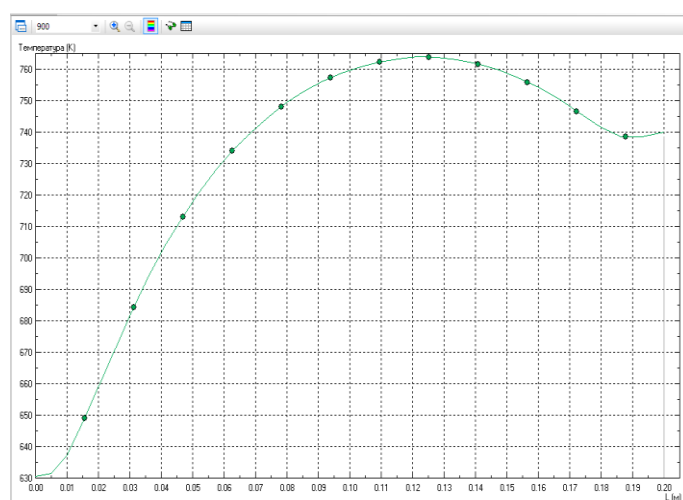


Рис. 5. График распределения температур по оси двутавра, защищенного огнезащитной пастой, на момент времени 15 мин

На графике видно, что на момент времени 15 мин. в большей части сечения температура еще не достигла критических значений. Таким образом, расчет подтверждает заявленное производителем время защиты не менее 15 мин.

На представленных выше графиках можно наблюдать, что предел огнестойкости балки, покрытой огнезащитной пастой, примерно в два раза выше, чем балки без защиты.

Для обеспечения нормальной работы огнезащитного покрытия в условиях пожара необходимо строгое соблюдение технологии нанесения этого покрытия, начиная со стадии правильного подбора огнезащитного состава, соответствующего условиям эксплуатации.

Различные нарушения технологии могут повлечь за собой повреждение огнезащитного покрытия и, как следствие, аннулировать огнезащитный эффект.

Рассмотрим ряд наиболее типичных нарушений процесса нанесения огнезащитного покрытия, способных привести к его повреждению:

1. Несоответствие покрытия условиям эксплуатации по параметру атмосферостойкости.
2. Несовместимость с антикоррозионными грунтовками – в случае подбора неподходящей грунтовки адгезия на границе «грунт-огнезащита» не будет соответствовать нормам, при пожаре огнезащитное покрытие отслоится.
3. Нанесение грунта на ржавчину. Продукты окисления металла, увеличиваясь в объеме, будут разрушать слой грунта и, соответственно, слой огнезащиты.
4. Контрафактная продукция на рынке огнезащитных материалов, не обеспечивающая должного предела огнестойкости конструкции.

5. Нанесение грунта на неподготовленное покрытие – для хорошей адгезии защищаемая поверхность должна быть чистой и сухой, без каких-либо загрязнений, ее необходимо обезжирить и обеспылить.

6. Повреждение грунта – может наступить в результате каких-либо работ (например, сварки). На месте сварки грунт сгорает, вокруг образуется слой сажи и окалины, вызывающие отслоение огнезащитного покрытия.

7. Нанесение покрытия на непросохший грунт может привести к растрескиванию огнезащитного покрытия при высыхании.

8. Превышение нормативной толщины слоя – приводит к образованию потеков, а также к превышению предела несущей способности мокрого слоя, когда вес нанесенного слоя превышает силы адгезии, что вызывает его отслоение; к отслоению может привести также невыдерживание времени сушки слоя.

9. Применение загрязненного разбавителя огнезащитной краски.

Согласно ст. 21 Постановления Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме» руководитель организации несет ответственность за работоспособное состояние огнезащитных покрытий на строительных конструкциях («..Руководитель организации обеспечивает устранение повреждений толстослойных напыляемых составов, огнезащитных обмазок, штукатурки, облицовки плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами, ... а также осуществляет проверку состояния огнезащитной обработки (пропитки) в соответствии с инструкцией завода-изготовителя с составлением протокола проверки состояния огнезащитной обработки (пропитки). Проверка состояния огнезащитной обработки (пропитки) при отсутствии в инструкции сроков периодичности проводится не реже одного раза в год») [7].

Таким образом, законодательством Российской Федерации установлены требования к устранению повреждений огнезащитного покрытия, которые могут повлечь за собой снижение фактического предела огнестойкости конструкций и возникновение опасности для людей в случае пожара.

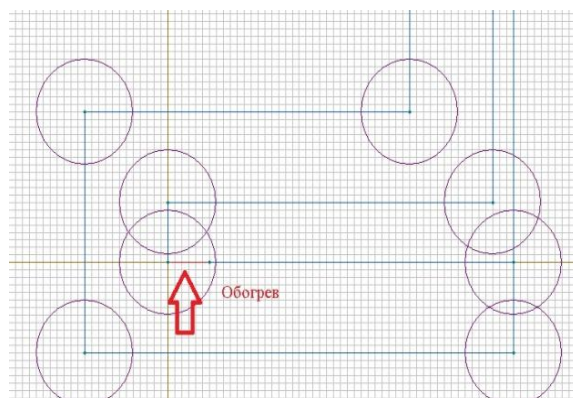
Однако на практике возможны случаи, когда повреждения огнезащитного покрытия настолько незначительны, что не несут угрозы для предела огнестойкости конструкции. Решение на их устранение целесообразно принимать с учетом экономического фактора. При этом следует проверить условие обеспечения безопасности людей в случае пожара. Данную задачу можно решить с помощью специальных программных средств.

Рассмотрим влияния различных случаев локальных повреждений огнезащитного покрытия на металлической балке (рис. 6).

Для расчета распределения температур по сечению с поврежденным огнезащитным покрытием отразим на модели двутавра площадку обогрева, возникшую в результате скола (рис. 7).

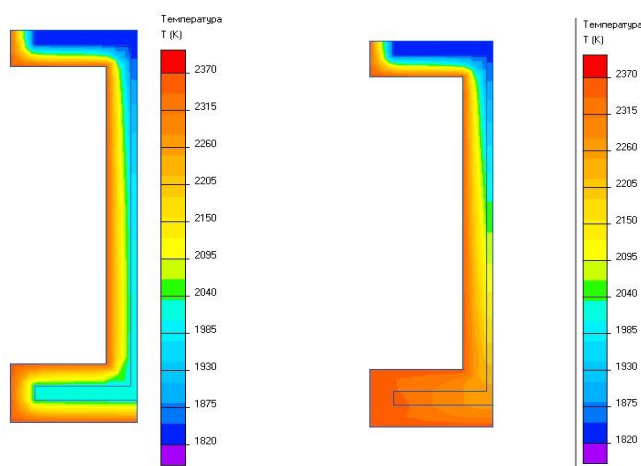


Рис. 6. Повреждения огнезащитного покрытия. Слева: скол покрытия в нижней части балки; справа – высверлено отверстие в нижней полке двутавра, срез не покрыт огнезащитным слоем



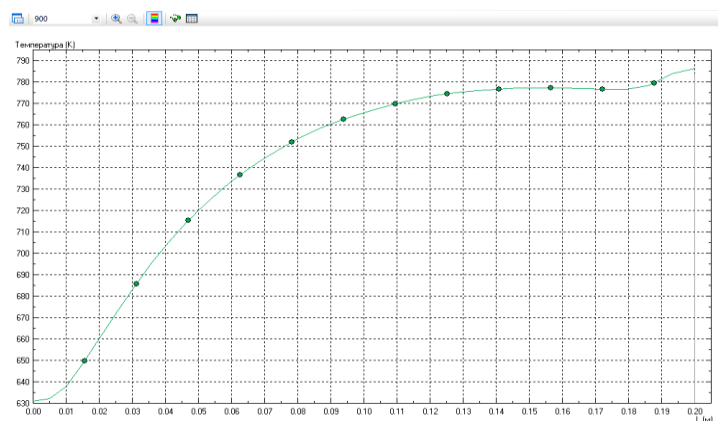
**Рис. 7. Модель сечения двутавра (нижняя часть)  
с локальным повреждением огнезащитного покрытия**

Температурное поле по сечению показано разными цветами. Рисунки наглядно отражают существенность различия температурных полей в сечении балки с неповрежденным покрытием (слева) и с покрытием, имеющим, казалось бы, незначительный скол (справа) (рис. 8).



**Рис. 8. Температурное поле в сечении двутавра: слева – неповрежденное огнезащитное покрытие, справа – имеющее мелкий скол покрытия в нижней части балки**

Рассмотрим график изменения температуры по оси сечения двутавра на момент времени 15 мин (рис. 9).



**Рис. 9. График распределения температуры по оси двутавра,  
имеющего скол огнезащитного покрытия на момент времени 15 мин**



Из графика видно, что более чем на половине сечения балки температура превысила критическую. Таким образом, заявленное время огнезащиты (15 мин) не соблюдается.

Рассмотрим случай повреждения, представленный на рис. 6 (справа), – отверстие в нижней полке двутавра. Аналогично внесем в модель сечения дополнительные участки обогрева на местах, оказавшихся непокрытыми в результате повреждения. Распределение температур на момент времени 15 мин показано на графике (рис. 10).

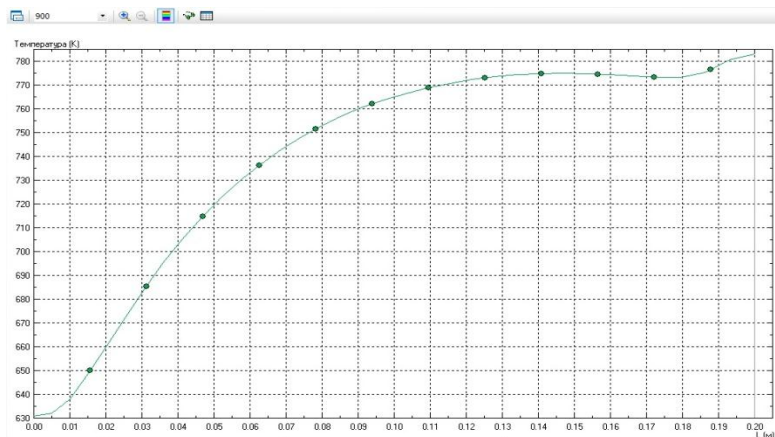


Рис. 10. График распределения температуры по оси сечения двутавра, имеющего повреждение в виде высверленного отверстия

Проанализировав графики на рис. 9, 10, можно увидеть, что они практически идентичны. Это можно объяснить высокой теплопроводностью стали, что обуславливает отсутствие существенных различий при прогреве данной конструкции с повреждениями огнезащитного покрытия различного размера.

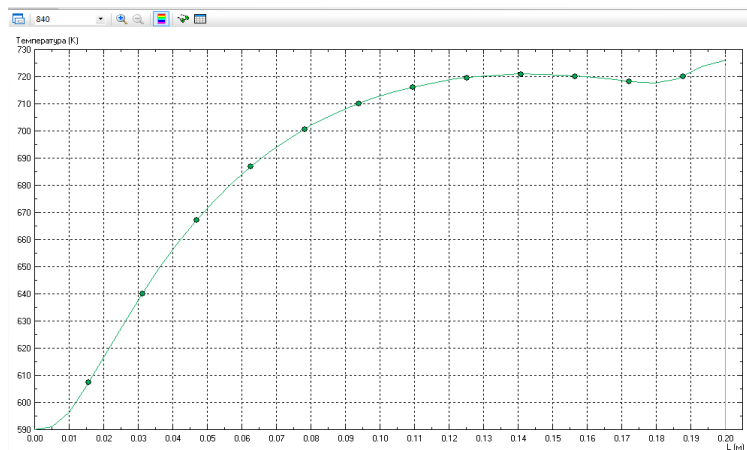


Рис. 11. Распределение температур по сечению двутавра на момент времени 14 мин

При этом если рассмотреть график распределения температур по сечению на момент времени 14 мин (рис. 11), то можно увидеть, что критическое значение температуры еще не достигается. Таким образом, фактический предел огнестойкости снижается на время, равное примерно одной минуте.

Таким образом, анализ расчетов температурного поля в сечении металлической балки при локальном повреждении огнезащитного покрытия показал, что даже мелкое повреждение оказывает критическое влияние на предел огнестойкости балки, снижая его ниже нормативного значения, в силу высокой теплопроводности металла. Лицам, контролирующим состояние объектов защиты, необходимо учитывать данный факт при проведении мероприятий по контролю и уделять повышенное внимание состоянию

огнезащитных покрытий металлических конструкций. При этом можно предположить, что в случае возможного пожара подобное повреждение огнезащитного покрытия с большой долей вероятности не приведет к катастрофическим последствиям, учитывая относительно небольшое снижение фактического предела огнестойкости.

Результаты работы показывают, что такая особенность металлоконструкций, как высокая теплопроводность, обуславливает высокую опасность даже мелкого повреждения огнезащитного покрытия. Это приводит к снижению предела огнестойкости конструкции ниже установленных нормативов. При этом в рассмотренном расчете снижение расчетного предела огнестойкости составило около одной минуты.

### **Литература**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. ELCUT ® Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.3. Руководство пользователя. М.: ООО «Тор», 2017.
3. Романов Н.Н., Кузьмин А.А. Методические рекомендации по выполнению лабораторной работы на тему «Температурный режим при горении ГЖ в помещении». СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016.
4. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен». Иваново: Ивановский гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина, 2009.
5. СТО АСЧМ 20–93 Стандарт ассоциации предприятий и организаций по стандартизации продукции черной металлургии. Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. Ассоциация ЧЕРМЕТСТАНДАРТ, 1994. URL: <http://kupitmetalloprokat.ru> (дата обращения: 17.10.2017).
6. Краснов Л.Л., Кирина З.В. Материалы, обеспечивающие надежность работы конструктивных элементов в условиях пожара. М.: ВИАМ, 2012.
7. О противопожарном режиме: Постановление Правительства Рос. Федерации от 25 апр. 2012 г. № 390. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Воронин Сергей Владимирович** – ст. инспектор гр. контроля кач-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Гаджиев Шамиль Гаджиевич** – гос. инспектор г. Махачкала по пож. надзору управ. надзор. деят. и профилакт. работы ГУ МЧС России по Республике Дагестан (367008, г. Махачкала, пр. Али-Гаджи Акушинского, д. 30 Д.);

**Иванов Алексей Владимирович** – доц. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: refox@mail.ru, канд. техн. наук;

**Ивахнюк Григорий Константинович** – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: mif-afto@mail.ru, д-р хим. наук, проф.;

**Калинина Елена Сергеевна** – проф. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

**Кирпичникова Анастасия Александровна** – курсант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Константинова А.С.** – курсант ф-та инж.-техн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Крюкова Марина Сергеевна** – зам. нач. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Кузьмин Анатолий Алексеевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

**Лабинский Александр Юрьевич** – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-69-70, канд. техн. наук, доц.;

**Макарова Олеся Александровна** – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Минкин Дмитрий Алексеевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Мифтахутдинова Александра Артуровна** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 387-97-95, e-mail: mif-afto@mail.ru;

**Решетов Анатолий Петрович** – проф. каф. орг. пожаротушения и провед. авар.-спас. работ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-25-85, e-mail: anamol.reshetov@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Романов Николай Николаевич** – доц. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: romanov\_n.n@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Симонова Марина Александровна** – зам. нач. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: masima82@inbox.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Скрипник Игорь Леонидович** – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Сорокин Алексей Юрьевич** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); e-mail: aleksey.sorokin.1987@list.ru.



---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 30 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в мировое научно-образовательное пространство. Университет по очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий формам обучения осуществляет обучение по программам среднего, высшего профессионального образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России. В целом в университете – 91 направление образовательных программ.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы Чижигов Эдуард Николаевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность», вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, высшей математики, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, бюджетного учета и аудита в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. Инновационными программами подготовки стало обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальностям «Горное дело» и «Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают 1 член-корреспондент РАН, 5 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 13 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой

квалификации в настоящее время в университете осуществляют 4 лауреата Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, 42 доктора наук, 228 кандидатов наук, 63 профессора, 155 доцентов, 20 академиков отраслевых академий, 11 членов-корреспондентов отраслевых академий, 6 старших научных сотрудников, 8 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации и 2 почетных работника общего образования Российской Федерации.

В состав университета входят:

- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт культуры;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета;
- три факультета: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Петрозаводск, Стрежевой (Томская область), Хабаровск, Сыктывкар, Бургас (Республика Болгария), Алматы (Республика Казахстан), Бар (Республика Черногория), Баку (Азербайджан), Ниш (Сербия), Севастополь, Пятигорск.

В университете по 31 направлению подготовки обучается более 8 000 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 550 специалистов.

В университете действует один диссертационный совет по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим наукам.

В целях совершенствования научной деятельности в университете создано 12 научно-исследовательских лабораторий.

Ежегодно в университете проводятся международные научно-практические конференции, семинары и «круглые столы» по широкому спектру теоретических и научно-прикладных проблем, в том числе по развитию системы предупреждения, ликвидации и снижения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, совершенствованию организации взаимодействия различных административных структур в условиях экстремальных ситуаций и др.

Среди них: Всероссийская научно-практическая конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международная научно-практическая конференция «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций», Форум МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность», Всероссийская научно-практическая конференция «Арктика – территория безопасности. Развитие системы обеспечения комплексной безопасности Арктической зоны Российской Федерации».

На базе университета совместные научные конференции и совещания проводили Правительство Ленинградской области, Федеральная служба Российской Федерации по контролю оборота наркотических средств и психотропных веществ, Научно-технический совет МЧС России, Северо-Западный региональный центр МЧС России, Международная ассоциация пожарных и спасательных служб (СТИФ), Законодательное собрание Ленинградской области.

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами. Традиционно большим интересом пользуется стенд университета на ежегодном Международном салоне «Комплексная безопасность», Международном форуме «Охрана и безопасность» SFITEX.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России на протяжении нескольких лет сотрудничает с Государственным Эрмитажем в области инновационных проектов по пожарной безопасности объектов культурного наследия.

При обучении специалистов в вузе широко используется передовой отечественный и зарубежный опыт. Университет поддерживает тесные связи с образовательными, научно-исследовательскими учреждениями и структурными подразделениями пожарно-спасательного профиля Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Великобритании, Германии, Казахстана, Канады, Китая, Кореи, Сербии, Черногории, Словакии, США, Украины, Финляндии, Франции, Эстонии и других государств.

Вуз является членом Международной ассоциации пожарных и спасательных служб (СТИФ), объединяющей более 50 стран мира.

В рамках международной деятельности университет активно сотрудничает с международными организациями в области обеспечения безопасности.

В сотрудничестве с Международной организацией гражданской обороны (МОГО) Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России были организованы и проведены семинары для иностранных специалистов (из Молдовы, Нигерии, Армении, Судана, Иордании, Бахрейна, Азербайджана, Монголии и других стран) по экспертизе пожаров и по обеспечению безопасности на нефтяных объектах, по проектированию систем пожаротушения. Кроме того, сотрудники университета принимали участие в конференциях и семинарах, проводимых МОГО на территории других стран. В настоящее время разработаны пять программ по техносферной безопасности на английском языке для представителей Международной организации гражданской обороны.

Одним из ключевых направлений работы университета является участие в научном проекте Совета государств Балтийского моря (СГБМ). Университет принимал участие в проекте 14.3, а именно в направлении С – «Макрорегиональные сценарии рисков, анализ опасностей и пробелов в законодательстве» в качестве полноценного партнера. В настоящее время идет работа по созданию нового совместного проекта в рамках СГБМ.

Большая работа ведется по привлечению к обучению иностранных граждан. Открыты представительства в пяти иностранных государствах (Болгария, Черногория, Казахстан, Азербайджан, Сербия).

В настоящее время в университете обучаются более 200 граждан из 8 иностранных государств.

Заключены соглашения о сотрудничестве более чем с 20 иностранными учебными заведениями, в том числе Высшей технической школой профессионального обучения г. Нови Сад и университетом г. Ниш (Сербия), Академией пожарной охраны г. Гамбурга (ФРГ), Колледжем пожарно-спасательной службы г. Куопио (Финляндия), Кокшетауским техническим институтом МЧС Республики Казахстан и многими другими. Организовано обучение представителей университета в Гарвардском университете по программам подготовки руководителей в области безопасности.

В университете на основании межправительственных соглашений проводится обучение сотрудников МЧС Кыргызской Республики и Республики Казахстан.

За годы существования университет подготовил более 1 000 специалистов для пожарной охраны Афганистана, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Гвинеи-Бисау, Кореи, Кубы, Монголии, Йемена и других зарубежных стран.

Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Издается ежемесячный информационно-аналитический сборник Центра международной деятельности и информационной политики, аналитические обзоры по пожарно-спасательной тематике. Переведен на английский язык и постоянно обновляется сайт университета.

Компьютерный парк университета составляет более 1 400 единиц, объединенных в локальную сеть. Компьютерные классы позволяют курсантам работать в международной компьютерной сети Интернет. С помощью сети Интернет обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса. Необходимая нормативно-правовая информация находится в базе данных компьютерных классов, обеспеченных полной версией программ «КонсультантПлюс», «Гарант», «Законодательство России», «Пожарная безопасность». Для информационного обеспечения образовательной деятельности в университете функционирует единая локальная сеть.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонд библиотеки университета составляет более 359 тыс. экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Фонды библиотеки имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом.

В Электронную библиотеку оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: учебные центры, а также Дальневосточный филиал и библиотека учебно-спасательного центра «Вытегра». Имеется доступ к крупнейшим библиотекам нашей страны и мира (Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина, Российская национальная библиотека, Российская государственная библиотека, Библиотека академии наук, Библиотека Конгресса). Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде.

В фонде библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2017 г., в соответствии с требованиями ГОС, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. Также выписываются 3 иностранных журнала.

На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и план издательской деятельности Министерства. Университет издает 7 научных журналов, публикуются материалы ряда Международных и Всероссийских научных конференций, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс. Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Все слушатели и курсанты университета проходят обучение по программам первоначальной подготовки спасателей и пожарных. Обучение проходит на базе Учебно-спасательного центра «Вытегра» – филиала Северо-Западного регионального ПСО МЧС России; Центра подготовки спасателей Байкальского поисково-спасательного отряда МЧС России, расположенного в населенном пункте Никола вблизи озера Байкал; 40-го Российского центра подготовки спасателей; 179-го Спасательного центра в г. Ногинске; Центра подготовки спасателей «Красная Поляна» Южного регионального ПСО МЧС России.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. был создан Центр по обучению кадетов.

Основные цели деятельности центра – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

Центр осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учётом дополнительных образовательных программ.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС): участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете институте культуры. Учащиеся университета принимают активное участие в играх КВН среди команд структурных подразделений МЧС России, ежегодных профессионально-творческих конкурсах «Мисс МЧС России», «Лучший клуб», «Лучший музей», конкурсе музыкального творчества пожарных и спасателей «Мелодии Чутких Сердец».

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.



---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА

## «ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ»

### (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

---

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

**1. Материалы** для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб УГПС – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

#### **3. Оформление текста:**

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, *интервал 1,5*, без переносов, в одну колонку, *все поля по 2 см*, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии *авторов (не более трех)*; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

*Требования к аннотации.* Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

#### **4. Оформление формул в тексте:**

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

#### **5. Оформление рисунков и таблиц:**

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в текст

или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

#### **6. Оформление библиографии (списка литературы):**

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Приставленные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

#### **Литература**

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэгжяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневой опасности: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

#### **7. Оформление раздела «Сведения об авторах»**

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

*Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.*

**Вниманию авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.**

**Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное, анонимное рецензирование.**



**МЧС РОССИИ**  
**ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет**  
**Государственной противопожарной службы»**

Научно-аналитический журнал

**Природные и техногенные риски**  
**(физико-математические и прикладные аспекты)**

**№ 4 (24) – 2017**

Выпускающий редактор П.А. Болотова

---

Подписано в печать 29.12.2017. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. 9,00 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149