

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

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

**№ 2 (26) – 2018**

**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**, декан 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**, профессор 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**

Лабинский А.Ю. Особенности фрактального сжатия изображений .....	5
Коннова Л.А. Историческая ретроспектива крупномасштабных радиационных аварий и их последствий .....	12
Трофимец Е.Н., Алексеенко Я.В. Синергетический подход к исследованию уравнения Пуассона с использованием информационно-коммуникационных технологий ...	16

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

Романов Н.Н., Константинова А.С. Влияние особенностей теплового режима пожара в помещении на огнестойкость ограждающих строительных конструкций .....	25
Трубилко А.И., Трубилко Л.А. Пожарная безопасность в некоторых задачах электростатики .....	30
Шарков А.В., Кораблев В.А., Тилеубай Н.С., Минкин Д.А. Методика измерения тепловых потоков при моделировании интенсивных тепловых процессов .....	41

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

Скрипник И.Л. К вопросу об организации контроля качества профессиональной подготовки специалистов Государственной противопожарной службы МЧС России .....	46
Воронин С.В. Актуальные проблемы дистанционного обучения специалистов пожарной безопасности в вузе МЧС России .....	51
Каверзнева Т.Т., Воронин С.В., Скрипник И.Л. Применение спасательных тентов для эвакуации людей при чрезвычайных ситуациях в зданиях малой высотности .....	56

Сведения об авторах .....	62
Информационная справка .....	63
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты) .....	68

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, 2018

---

---

# МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

---

---

## ОСОБЕННОСТИ ФРАКТАЛЬНОГО СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

Рассмотрены подходы к решению задачи фрактального сжатия изображений. Один из подходов связан с анализом исходного изображения с целью поиска аффинных коэффициентов. Данный подход реализован в виде программы для ЭВМ.

*Ключевые слова:* фрактал, самоподобие, кодирование информации, математическая модель

## THE SPECIAL FEATURE OF FRACTAL IMAGE COMPRESSION

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

This article presents the special feature of fractals theory for fractal compression. The mathematical model compression of a fractal to realize in form the computing program.

*Keywords:* fractal, self-similarity, information encode, mathematical model

Для повышения эффективности передачи графической информации по каналам связи используется сжатие передаваемой информации. Фрактальное сжатие информации позволяет передавать по каналам связи не исходное изображение (Кбайты информации), а аффинные коэффициенты (байты), по которым в пункте приема информации производится восстановление изображения.

В настоящее время для фрактального сжатия изображений используется два подхода [1]. Первый подход связан с поиском самоподобных фрагментов двух типов, называемых регионами и доменами, выделяемых в исходном изображении [2]. Второй подход связан с анализом исходного изображения с целью поиска аффинных коэффициентов, используемых в алгоритмах построения фрактальных изображений с помощью систем итерированных функций [3].

Алгоритм фрактального сжатия изображений, связанный с поиском самоподобных фрагментов исходного изображения, заключается в следующем [4]. Исходное изображение делится с помощью равномерной сетки на регионы, уменьшается в четыре раза по площади и делится на домены, площадь которых равна площади регионов, причем соседние домены могут перекрывать друг друга.

Далее процесс фрактального сжатия изображения осуществляется путем поиска самоподобных областей. На данном этапе алгоритма фрактального сжатия изображений для каждого региона определяется наиболее близкий к нему домен путем следующих операций [5]:

- сравнение каждого пикселя региона и домена по цвету и яркости;
- аффинное преобразование поворота фрагмента изображения;

- аффинное преобразование сжатия фрагмента изображения;
- аффинное преобразование сдвига фрагмента изображения.

После нахождения для текущего региона сходного с ним домена алгоритм фрактального сжатия изображений производит запоминание координат домена и коэффициентов соответствующего аффинного преобразования, являющихся коэффициентами системы итерированных функций (СИФ).

Таким образом, в результате обработки всего изображения может быть получена матрица коэффициентов СИФ, с помощью которых кодируется (сжимается) изображение. Вместо файла графического изображения создается файл существенно меньшего объема, содержащий информацию двух типов: размер и количество регионов; матрица коэффициентов СИФ.

Второй подход к фрактальному сжатию изображений заключается в следующем. Производится анализ исходного изображения с целью выделения характерных областей (составных частей) изображения. Все изображение с помощью аффинных преобразований может трансформироваться в эти характерные области, задаваемые в виде точек контура. В результате могут быть получены координаты характерных точек изображения до и после трансформации. Решение задачи трансформации изображения сводится к нахождению коэффициентов системы уравнений аффинного преобразования. В случае аффинного преобразования система уравнений для каждой точки изображения выглядит следующим образом:

$$x' = a*x + b*y + e; \quad y' = c*x + d*y + f,$$

где  $x, y$  – координаты точки до аффинного преобразования (известны);  $x', y'$  – координаты точки после аффинного преобразования (известны);  $a, b, c, d, e, f$  – аффинные коэффициенты (неизвестны).

Трансформация контура из трех точек представлена на рис. 1.

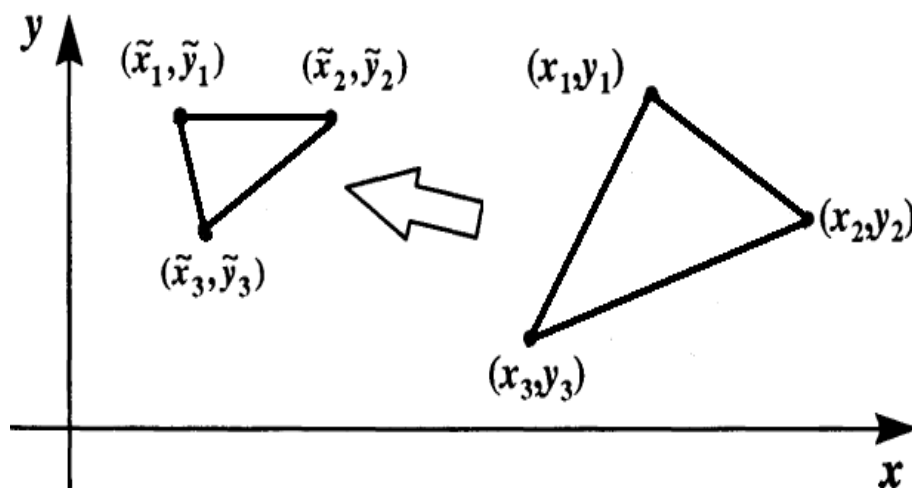


Рис. 1. Трансформация контура из трех точек

Таким образом, для нахождения шести неизвестных коэффициентов одного аффинного преобразования необходимо иметь не менее трех пар характерных точек с известными координатами до и после трансформации ( $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$  и  $x_1', y_1'; x_2', y_2'; x_3', y_3'$ ). В результате для одного аффинного преобразования получим три пары уравнений трансформации каждой точки изображения [5]:

$$\begin{aligned} x_1' &= a*x_1 + b*y_1 + e; & y_1' &= c*x_1 + d*y_1 + f, \\ x_2' &= a*x_2 + b*y_2 + e; & y_2' &= c*x_2 + d*y_2 + f, \\ x_3' &= a*x_3 + b*y_3 + e; & y_3' &= c*x_3 + d*y_3 + f. \end{aligned}$$

В векторной форме полученная система уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \\ x_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ e \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} y_1' \\ y_2' \\ y_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} c \\ d \\ f \end{bmatrix}.$$

Обозначив векторы координат точек как  $X$  и  $Y$ , векторы коэффициентов аффинного преобразования как  $ABE$  и  $CDF$ , а матрицу как  $M$ , получим систему уравнений в векторной форме:

$$X' = M * ABE; Y' = M * CDF.$$

Для получения коэффициентов аффинного преобразования векторы координат точек  $X'$  и  $Y'$  должны быть умножены на обратную матрицу:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \\ x_3' \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} c \\ d \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_1' \\ y_2' \\ y_3' \end{bmatrix}.$$

В векторной форме:

$$ABE = M^{-1} * X'; CDF = M^{-1} * Y'.$$

Необходимо иметь в виду, что для обратного преобразования из  $x, y$  в  $x', y'$  матрица коэффициентов аффинного преобразования будет иметь другой вид:

$$\begin{bmatrix} a' \\ b' \\ e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1' & y_1' & 1 \\ x_2' & y_2' & 1 \\ x_3' & y_3' & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} c' \\ d' \\ f' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1' & y_1' & 1 \\ x_2' & y_2' & 1 \\ x_3' & y_3' & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}.$$

В векторной форме:

$$ABE' = M'^{-1} * X; CDF' = M'^{-1} * Y.$$

Таким образом, для решения рассмотренной выше системы уравнений необходимо производить операции получения обратной матрицы и умножения матрицы на вектор.

Для решения задачи трансформации изображения полученный набор коэффициентов аффинного преобразования подставляется в исходные уравнения и задача получения новых координат решается для каждого пикселя исходного растра, получая новую матрицу координат пикселей изображения в конечной системе координат.

Аффинные коэффициенты  $A, B, C$  и  $D$ , обеспечивающие преобразования сдвига, поворота, отображения и масштабирования, и коэффициенты  $E$  и  $F$ , обеспечивающие преобразования смещения, могут быть найдены, если известны координаты векторов характерных точек изображения до и после трансформации. Минимальный размер вектора характерных точек составляет три точки.

В работе [6] для симметричных изображений и в случае, когда известны координаты трех точек контуров исходного изображения  $(x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3)$  и получаемого изображения  $(x_1', y_1'; x_2', y_2'; x_3', y_3')$ , искомые аффинные коэффициенты предлагается определять по следующим формулам:

$$\begin{aligned} Z &= y_1'(x_3 - x_2) + y_2'(x_1 - x_3) + y_3'(x_2 - x_1); \\ A &= [y_1'(x_3 - x_2) + y_2'(x_1 - x_3) + y_3'(x_2 - x_1)] / Z; \\ B &= [x_1'(x_2 - x_3) + x_2'(x_3 - x_1) + x_3'(x_1 - x_2)] / Z; \\ C &= [y_1'(y_3 - y_2) + y_2'(y_1 - y_3) + y_3'(y_2 - y_1)] / Z; \end{aligned}$$

$$D = [x_1 * (y_2 - y_3) + x_2 * (y_3 - y_1) + x_3 * (y_1 - y_2)] / Z;$$

$$E = [x_1 * (y_2 * x_3 - y_3 * x_2) + x_2 * (y_3 * x_1 - y_1 * x_3) + x_3 * (y_1 * x_2 - y_2 * x_1)] / Z;$$

$$F = [x_1 * (y_2 * y_3 - y_3 * y_2) + x_2 * (y_3 * y_1 - y_1 * y_3) + x_3 * (y_1 * y_2 - y_2 * y_1)] / Z.$$

Необходимо отметить, что существуют алгоритмы поиска аффинных коэффициентов, которые используют для каждого аффинного преобразования координаты более трех характерных точек (векторы X и Y, содержащие более трех значений), выделенных в изображении.

Таким образом, программа для ЭВМ, реализующая второй подход к фрактальному сжатию изображений, должна содержать следующие компоненты:

- компонент, реализующий загрузку и вывод на экран исходного изображения;
- компонент, реализующий выделение характерных областей изображения, задаваемых в виде характерных точек контура;
- компонент, реализующий решение системы уравнений трансформации каждой характерной точки изображения с целью нахождения шести коэффициентов для каждого аффинного преобразования;
- компонент, реализующий построение фрактального изображения по найденным коэффициентам аффинных преобразований;
- компонент, производящий методами поиска коррекцию найденных коэффициентов аффинных преобразований с целью максимального приближения построенного фрактального изображения к исходному изображению.

Данный подход к фрактальному сжатию изображений может использоваться применительно к изображениям, обладающим свойством самоподобия. Такие изображения могут быть построены из элементов, являющихся копией целого изображения. Для произвольных изображений, не обладающих свойством самоподобия, можно найти только фрагменты изображения, являющиеся копиями других фрагментов изображения. Для сжатия таких изображений можно использовать изложенный выше первый подход к фрактальному сжатию изображений.

### Моделирование поиска аффинных коэффициентов

Указанный подход к решению задачи фрактального сжатия самоподобных монохромных изображений путем получения коэффициентов аффинных преобразований изображения был реализован в виде программы для ЭВМ, интерфейс которой представлен на рис. 2.

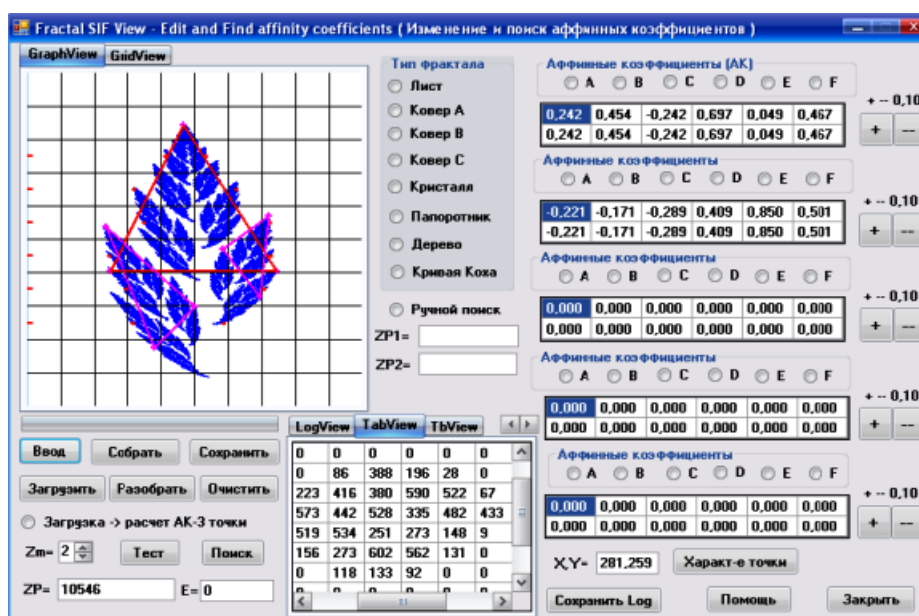


Рис. 2. Интерфейс программы поиска аффинных коэффициентов



Разработанная программа для ЭВМ позволяет как строить фрактальные изображения с помощью систем итерированных функций, представляющих собой совокупность аффинных преобразований, так и производить поиск аффинных коэффициентов преобразований сдвига, поворота, отображения, масштабирования и смещения изображения на основе анализа исходного изображения. Данная программа для ЭВМ предназначена для работы с относительно простыми монохромными изображениями размером 300\*300 пикселей, которые для своего построения требуют от двух до пяти аффинных преобразований, каждое из которых задается с помощью шести аффинных коэффициентов.

В данной программе поиск аффинных коэффициентов производится в два этапа. На первом этапе поиска аффинных коэффициентов производится загрузка исходного изображения. Далее исходное изображение делится с помощью равномерной сетки на фрагменты, в которых выделяются характерные точки изображения. На основе полученных координат характерных точек составляется система уравнений трансформации каждой точки изображения. В результате решения полученной системы уравнений определяются предварительные значения коэффициентов аффинных преобразований, используемых с целью получения исходного изображения.

Разработанная программа позволяет использовать несколько методов поиска предварительных значений коэффициентов для каждого аффинного преобразования на основе векторов X, Y координат характерных точек, содержащих координаты как трех, так и более характерных точек.

В качестве примера использования программы для поиска предварительных значений аффинных коэффициентов рассмотрим фрактальное изображение ковра Серпинского, для построения которого необходимо выполнить три аффинных преобразования. Выделение характерных областей изображения представлено на рис. 3.

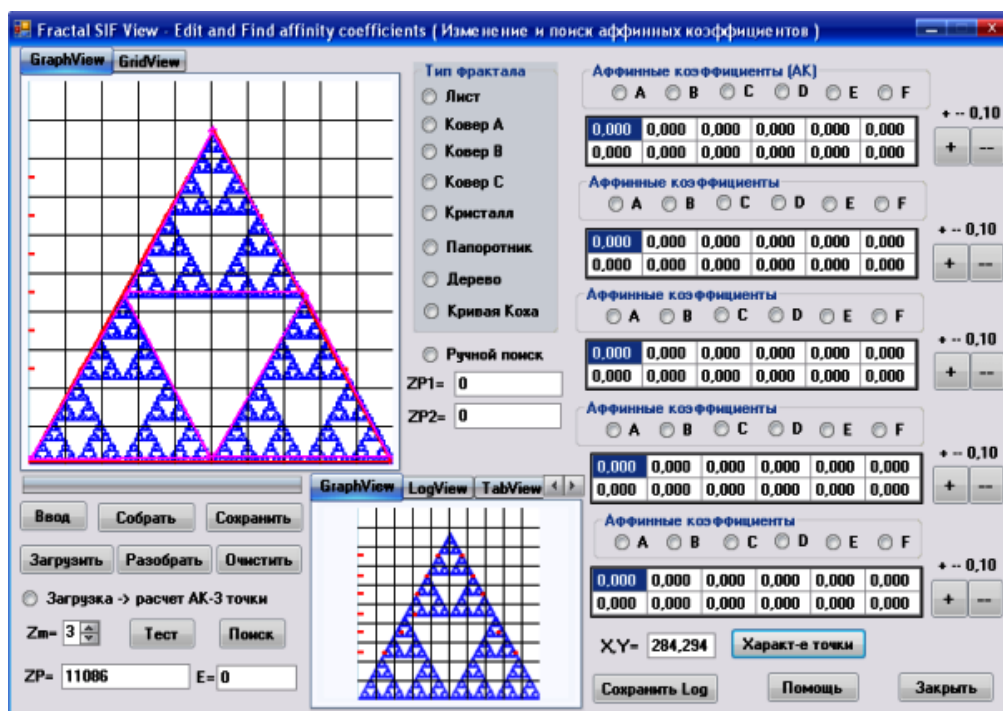


Рис. 3. Выделение характерных областей изображения

Построение фрактального изображения по рассчитанным аффинным коэффициентам представлено на рис. 4.

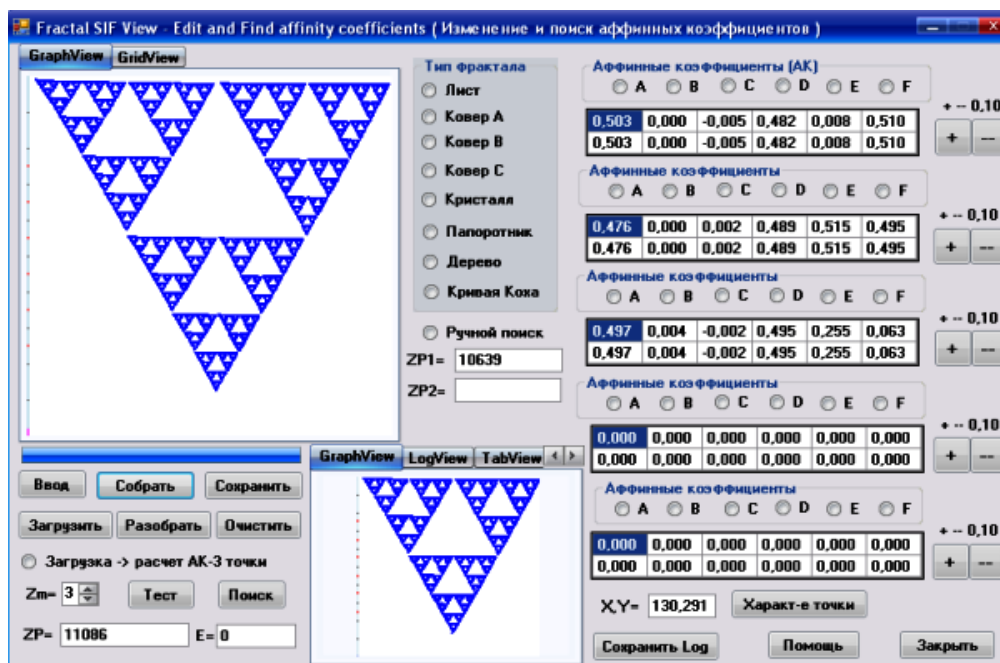


Рис. 4. Построение фрактального изображения по рассчитанным аффинным коэффициентам

В табл. 1 представлены значения аффинных коэффициентов исходного фрактального изображения ковра Серпинского.

Таблица 1

Преобразование	A	B	C	D	E	F
$T_1$	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
$T_2$	0,50	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00
$T_3$	0,50	0,00	0,00	0,50	0,25	0,43

В табл. 2 представлены рассчитанные значения аффинных коэффициентов построенного фрактального изображения ковра Серпинского.

Таблица 2

Преобразование	A	B	C	D	E	F
$T_1$	0,50	0,00	0,00	0,48	0,01	0,51
$T_2$	0,48	0,00	0,00	0,49	0,51	0,50
$T_3$	0,50	0,00	0,00	0,50	0,25	0,06

На втором этапе поиска аффинных коэффициентов производится уточнение полученных на первом этапе значений коэффициентов аффинных преобразований. Так как процесс уточнения значений аффинных коэффициентов является процессом многомерной (многопараметрической) оптимизации, в котором вид целевой функции не известен и использование производных не представляется возможным, то необходимо использовать поисковые методы многомерной оптимизации.

Многомерная оптимизация заключается в поиске экстремумов функции многих переменных  $F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ . Методы такой оптимизации описаны в работе [7]. Методы поиска простейшего типа, называемые прямым поиском, заключаются в изменении на каждом шаге одной переменной, в то время как остальные переменные остаются постоянными. Однако

такой алгоритм поиска не обеспечивает решения задачи многопараметрической оптимизации в случае взаимного влияния переменных.

Так как в задаче фрактального сжатия изображений априорных сведений о свойствах целевой функции нет и с помощью вычислительных экспериментов на ЭВМ можно для каждого значения вектора параметров  $X$  получать только значение целевой функции  $F(X)$ , то в этих условиях весьма эффективными оказываются методы случайного поиска.

Метод случайного поиска Бокса (комплексный метод) [8] использует многогранник с  $(n+1)$  или более вершин  $p$ . Сначала определяется начальная точка  $X_1^{(0)}$ , а затем выбираются  $(p-1)$  дополнительных вершин с помощью датчика псевдослучайных чисел по следующей формуле:

$$X_i^{(0)} = L_i + R_i^{(0)} * (U_i - L_i),$$

где  $L_i$  и  $U_i$  – нижняя и верхняя границы для  $X_i$  ( $L_i < X_i < U_i$ );  $R_i^{(0)}$  – диагональная матрица псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на интервале  $(0, 1)$ . Затем целевая функция вычисляется в каждой вершине и вершина, в которой целевая функция имеет наихудшее значение, заменяется новой вершиной.

В рассматриваемой версии программы уточнение значений аффинных коэффициентов производится комплексным методом случайного поиска Бокса. В процессе поиска осуществляется минимизация целевой функции, в качестве которой используется сумма, вычисленная для всех фрагментов изображения, разностей количества пикселей, имеющих соответствующие цвет и яркость, исходного фрагмента и фрагмента изображения, построенного на основе полученных коэффициентов аффинных преобразований и с помощью системы итерированных функций, представляющих собой совокупность рассмотренных выше аффинных преобразований.

В представленной статье рассмотрены подходы к решению задачи фрактального сжатия изображений. Первый подход связан с поиском самоподобных фрагментов двух типов, выделяемых в исходном изображении. Второй подход связан с анализом исходного самоподобного изображения с целью поиска аффинных коэффициентов, используемых в алгоритмах построения фрактальных изображений с помощью систем итерированных функций. В рамках второго подхода выполнена разработка математической модели поиска аффинных коэффициентов, реализованная в виде программы для ЭВМ.

Представленная математическая модель и реализующая ее программа для ЭВМ могут являться основой для последующего проведения вычислительных экспериментов с целью оптимизации математической модели и компьютерной программы.

### Литература

1. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений: учеб. пособие. М.: Триумф, 2003.
2. Ватолин Д., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. М.: Диалог-МИФИ, 2003.
3. Перегуда С. Алгоритмы фрактального сжатия изображений. М.: LAMBERT, 2011.
4. Тропченко А.Ю. Методы сжатия изображений: учеб. пособие. СПб.: СПбУ ИТМО, 2009.
5. Сойфер В. Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2003.
6. Березовский Н.О. Алгоритмы анализа и синтеза изображений // Проблемы информатизации и управления. 2007. № 2.
7. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. М.: Радио и связь, 1984.
8. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975.

# ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕТРОСПЕКТИВА КРУПНОМАСШТАБНЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

**Л.А. Коннова, доктор медицинских наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

*Наука по своей сути не может  
существовать без истории.  
Ч. Сноу*

Статья посвящена мировой истории крупномасштабных радиационных аварий, начиная с событий в г. Хиросиме и г. Нагасаки. В хронологическом порядке приведены известные радиационные катастрофы, не связанные со взрывом бомб. Кратко описаны последствия пожаров и аварий на атомных электростанциях. Рассматривается мировой опыт аварийно-спасательных и восстановительных работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций радиационного характера.

*Ключевые слова:* радиационные аварии, атомные электростанции, пожары, аварийно-спасательные работы, уроки Чернобыля

## HISTORICAL RETROSPECTIVE OF LARGE-SCALE RADIATION ACCIDENTS AND THEIR CONSEQUENCES

L.A. Konnova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article is devoted to the world history of large-scale radiation accidents. The consequences and lessons learned are discussed, beginning with the events in Hiroshima and Nagasaki. In a chronological order, known radiation accidents, not related to the explosion of bombs, are listed. The consequences of fires and accidents at nuclear power plants are briefly described. The world experience of emergency rescue and recovery operations for eliminating the consequences of radiation emergencies is considered.

*Keywords:* radiation accidents, nuclear power plants, fires, emergency rescue operations, Chernobyl lessons

В 1945 г. над г. Хиросимой и г. Нагасаки взорвались атомные бомбы и мир узнал об острой лучевой болезни от внешнего облучения [1]. В 1953 г. США проводили испытание мощной мегатонной бомбы (15 Мт) в Тихом океане на атолле Бикини (Маршалские острова), которое завершилось трагедией – вместе с экспериментальными животными получили внешнее и внутренне облучение 280 военнослужащих и смертельному облучению подверглись 22 японских рыбака, которые в это время обедали на палубе шхуны «Счастливый дракон» в 122 км от эпицентра взрыва. Вместе с пищей в организм попал накрывший шхуну радиоактивный пепел и мир впервые узнал о внутреннем облучении в результате попадания радиоактивных веществ внутрь организма [2].

После взрывов атомных бомб во многих странах мира стали развиваться военно-промышленные комплексы по изготовлению оружейного плутония. Осенью 1957 г. практически одновременно произошли радиационные аварии на радиохимических заводах, на которых изготавливали оружейный плутоний: 29 сентября 1957 г. на комбинате «Маяк» в Челябинской области (Южный Урал) и 10 октября 1957 г. в Англии (г. Уиндскейл).

В результате аварии на комбинате «Маяк» сформировались радиационно-загрязненные территории России, получившие название Восточно-Уральский радиационный след (ВУРС) [3]. В Англии в результате взрыва в г. Уиндскейле погибло 13 человек, произошел выброс в окружающую среду долгоживущих радионуклидов и загрязнение территорий западной области Англии и части территорий Дании и Голландии [4]. Были уничтожены сотни тонн молока и мяса. Это были первые крупномасштабные радиационные аварии, не связанные со взрывом бомб, и первый опыт по ликвидации их последствий.

Первая в мире атомная электростанция (АЭС) была запущена в эксплуатацию в 1954 г. в г. Обнинск (СССР), она работала без аварий и пожаров. Первая в мире серьезная авария на атомной электростанции произошла на канадской АЭС в штате Онтарио 12 декабря 1952 г. по причине технической ошибки персонала. Произошел выброс тысячи кюри продуктов деления во внешнюю среду и около 3 800 м<sup>3</sup> радиоактивно загрязненной воды было сброшено прямо на землю в мелкие траншеи неподалеку от реки Оттавы. В составе команды, занимавшейся экологической очисткой территории станции, работал будущий президент США Джимми Картер, тогда ядерный инженер военно-морского флота.

Первый пожар на АЭС произошел в 1975 г. на самой крупной в США АЭС «Браунс Ферри» [5]. Пожар тушили в течение 8 ч, выброса радиоактивных веществ не произошло. Прямой материальный ущерб составил 10 млн долл. Два реакторных блока были выведены из строя более чем на год, что принесло дополнительные убытки еще в 10 млн долл. Потребовались большие усилия, чтобы вывести реактор на безаварийный режим и ликвидировать пожар. И только после этого события впервые пришло понимание двойной опасности пожара на АЭС – огня и радиации – и впервые была обозначена проблема пожаробезопасности АЭС.

31 декабря 1978 г. в Свердловской области, пос. Заречный, произошел пожар на Белоярской АЭС. Выгорел весь контрольный кабель, реактор оказался без контроля. При подаче в него аварийной охлаждающей воды пострадали от облучения восемь человек. Из 280 пожарных, принимавших участие в ликвидации пожара, 25 получили отравление и были обморожены.

Первая крупномасштабная радиационная авария произошла в США в 1979 г. на АЭС «Трех-Мильный-Остров». Погибло два человека, 200 000 были эвакуированы [6]. В связи с возникшей паникой и плохой организацией эвакуации населения произошло много несчастных случаев на дорогах. В наибольшей степени пострадали жители округа Дофин, проживавшие вблизи АЭС. Серьезные негативные последствия имела задержка на два дня решения об эвакуации детей и беременных женщин из 10-километровой зоны вокруг АЭС. Работы по очистке второго энергоблока, почти полностью разрушенного в результате аварии, заняли целых 12 лет и обошлись в один млрд долл.

15 октября 1982 г. в г. Медзамор на Армянской АЭС произошел взрыв генератора на первом энергоблоке. От возникшего пожара серьезно пострадал машинный зал. Из-за возникшей паники большая часть персонала покинула станцию, оставив реактор без надзора. Помогла спасти реактор оставшимся на своих местах операторам прибывшая самолетом с Кольской АЭС оперативная группа.

27 января 1984 г. на Запорожской АЭС в Украине из-за воспламенения полихлорвиниловых кабелей произошел пожар. Тушили пожар 115 пожарных, не имея средств защиты, в течение 18 ч. 17 из них получили химические ожоги и отравление. После этого случая на всех строящихся в СССР блоках АЭС стали использовать кабели с негорючей изоляцией.

27 июня 1985 г. на Балаковской АЭС (СССР) вследствие ошибок малоопытного персонала произошел разрыв трубопровода при «горячей обкатке» первого энергоблока и 300-градусный пар поступил в помещение, погибло 13 человек.

В 1986 г. произошла самая крупномасштабная радиационная авария за весь период развития атомной энергетики – на ЧАЭС в Украине в г. Чернобыль. Авария произошла

в процессе проведения несанкционированного испытания реактора и отключения автоматической защиты. Погибли 134 человека от острого лучевого поражения, из них – 31 пожарный. В отличие от взрывов атомных бомб над г. Хиросимой и г. Нагасаки, на Чернобыльской атомной станции взрыв представлял собой мощную «грязную бомбу» – основным поражающим фактором которой стало радиоактивное загрязнение. Произошло загрязнение обширных территорий в 20 странах мира, сформировались большие площади радиационно-загрязненных территорий – радиационный Чернобыльский след. Авария привела к глобальной экологической катастрофе – только в России радиационному загрязнению подверглись 19 областей [7]. В течение пяти лет проводились восстановительные работы, среди 600 000 ликвидаторов работали 38 000 пожарных. Пожарные после тушения пожара откачивали в сложных условиях радиоактивно-загрязненную воду из-под разрушенной станции, принимали участие в дезактивации территорий и объектов, осаждали радиоактивную пыль и т.д. Подробно причины, механизм аварии, хронология первоочередных аварийных работ, медицинские, социальные и экологические последствия Чернобыльской катастрофы рассмотрены в издании «Азбучник радиационной безопасности и защиты» [8].

6 апреля 1993 г. произошла авария на Сибирском радиохимическом заводе в Томске-7, где в результате взрыва возник пожар и разрушение части строительных конструкций. В окружающую среду произошел выброс долгоживущих радионуклидов. Персонал пытался справиться собственными силами, пожарных вызвали через несколько часов. Авария была признана серьезным инцидентом без жертв и переоблучения персонала. Радиоактивное облако прошло мимо населенных пунктов, загрязнению подверглась часть лесных массивов [9].

Последующие 10 лет имела место целая череда аварий на АЭС – в Мексике, Испании, Японии и ряде других стран без тяжелых медицинских и экологических последствий.

В 2011 г., через 25 лет после катастрофы в г. Чернобыле, произошла вторая крупномасштабная радиационная авария: в результате стихийного бедствия пострадала АЭС «Фукусима-I» в Японии. Впервые при аварии одновременно вышли из строя четыре реактора. Выброс радиоактивных веществ в прибрежную зону океана сравним с выбросом на ЧАЭС [10, 11]. Ликвидационные работы на АЭС продолжаются до сих пор. Общие расходы по ликвидации последствий по данным Министерства экономики Японии к 2013 г. составили 96 млрд долл., и в дальнейшем предстоит истратить еще более 200 млрд долл. [12].

Таким образом, представленный материал еще раз свидетельствует о том, что радиационная опасность является реальностью нашего мира, а проблема радиационной безопасности приобрела интернациональный характер. Последствия радиационных аварий имеют трансграничный характер, это относится и к пожарам на радиационно-загрязненных территориях (РЗТ), возникших в результате имевших место аварий и катастроф. На РЗТ ежегодно происходит несколько тысяч лесных пожаров, в дыму которых содержание радиоактивного цезия превышает допустимый уровень в сотни раз [13], что представляет опасность облучения для пожарных. Накопленный отечественный и зарубежный опыт по ликвидации пожаров и радиационных аварий позволил разработать и усовершенствовать мероприятия по защите личного состава пожарно-спасательных подразделений и населения в ситуациях с риском облучения. После аварий на Южном Урале была отработана последовательность мероприятий по радиационной защите населения, которая стала хорошо известной, проверенной и принятой во всем мире (что пригодилось после аварии в г. Чернобыле). Важными мерами защиты населения на РЗТ являются разработанные в нашей стране агротехнические меры, направленные на снижение уровня активности в продуктах местного производства до допустимого в соответствии с санитарными нормами. На Южном Урале были разработаны и другие меры защиты, в частности зонирование территорий и т.д. [15]. Многочисленным трагическим событиям в г. Чернобыле, о которых забывать нельзя. Во избежание трагических ошибок в случае развития аварийной ситуации следует принимать во внимание факты, которые стали причиной неготовности страны (всего населения) к чрезвычайным ситуациям радиационного характера. В первые часы после аварии имели

место неорганизованность, растерянность руководства, отсутствие радиационного контроля, непонимание ситуации, решение проблем «на ходу», отсутствие на ЧАЭС спецматериалов (доломита, карбида бора, цеолита, свинца). Не было и технических средств – робототехники с дистанционным управлением, подъемного крана большой грузоподъемности и высоты, спецпрачечных для проведения дезактивации, все пришлось срочно закупать за рубежом [16]. В достаточном количестве роботы отечественного производства появились через месяц после взрыва. Страна, которая готовилась к ядерной войне, оказалась не готовой к «грязной бомбе» Чернобыля. Перечисленные факты стали причиной переоблучения людей в смертельных дозах в процессе выполнения первоочередных аварийных работ. Из-за низкой радиологической культуры населения, живущего вокруг АЭС, физикам пришлось распространять листовки с основными понятиями о радиации и единицах измерения, то есть об элементарных основах радиометрии, которые необходимы для понимания информации о радиационном фоне [17]. Из-за неорганизованной самостоятельной эвакуации людей произошло распространение радиационного загрязнения, более всего пострадал г. Харьков, но позднее даже в Москве было выявлено более 50 источников радиации, связанных с вывезенным имуществом. Следует заметить, что не был учтен аналогичный опыт неорганизованной эвакуации в США при аварии на АЭС «Трех-Мильный-Остров» в 1979 г. В дальнейшем в результате неграмотных выступлений в средствах массовой информации специалистов, не имеющих отношения к радиационным проблемам (в том числе и врачей, специальность которых далека от радиационной медицины), развивались стрессы, фобии, произошел рост соматических заболеваний, не связанных с облучением, и повысилась смертность от инфарктов и инсультов. В 1993 г. в Томске-7 при тушении пожара на радиохимическом заводе был учтен опыт г. Чернобыля, поэтому переоблучения среди личного состава не было. В 2011 г. на японской атомной станции «Фукусима» нештатная ситуация отличалась от Чернобыльской по целому ряду причин, но медлительность японского руководства превратила аварию в катастрофу. Высокотехнологичная Япония также оказалась не готовой к развитию чрезвычайной ситуации на АЭС, о чем свидетельствует доставка на станцию борной кислоты американскими военными самолетами и использование американской робототехники. Отсутствие отработанных алгоритмов действий, непроработанность нештатной ситуации (запредельной радиационной аварии) также имели место в Японии. В то же время нельзя не отметить, что работы по ликвидации последствий аварии на АЭС Японии выполняли добровольцы, были попытки нанять иностранных ликвидаторов с опытом работы в опасных зонах, не было погибших от переоблучения.

В заключение можно отметить, что имевшие место радиационные аварии и катастрофы выявили множество проблем и дали миру уникальный опыт крупномасштабных аварийно-спасательных и восстановительных работ. События в Японии на «Фукусиме-1» напомнили, что забывать уроки г. Чернобыля нельзя, и даже в век развитых технологий ликвидация последствий таких аварий является чрезвычайно сложным и смертельно опасным делом. Непререкаемый урок пережитых радиационных катастроф заключается в том, что несмотря на дальнейшее развитие техники и ее надежности, вопросы профессионализма, дисциплины, порядка и организованности, научно-обоснованной позиции в отношении радиации приобретают первостепенное значения в плане предупреждения аварийных ситуаций и обеспечения безопасности аварийно-спасательных работ.

### **Литература**

1. Rhodes R. The Making of the Atomic Bomb // A Touchstone Book. Published by Simon & Schuster Inc. New York, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore, 1986. 886 s.
2. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 334 с.
3. Ларин В. Три радиационные катастрофы на комбинате «Маяк» // Энергия. 1996. № 4. С. 46–53.

4. Dunster H.J., Hawells H., Templeton W.L. Дозиметрический контроль окружающей местности после аварии в Уиндскейле в октябре 1957 года // Вторая Междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии. Избранные труды иностранных ученых «Радиобиология и радиационная медицина». М., 1959. С. 56–78.
5. Микеев А.К. Противопожарная защита АЭС // Энергоатомиздат. 1990. 360 с.
6. Fabrikant J.L. Health effects of the nuclear accident at Three Mile Island // Health Phys. 1980. Vol. 40. P. 151–161.
7. Гуськова А.К., Галстян И.А., Гусев И.А. Авария на Чернобыльской атомной станции (1986–2011): последствия для здоровья, размышления врача / под общ. ред. член-корр. РАМН А.К. Гуськовой. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2011. 253 с.
8. Азбучник радиационной безопасности и защиты (разработан раб. группой под рук. проф. С.В. Шарапова в рамках ОКР по плану НИОКР МЧС России). СПб., 2015. С. 99–107.
9. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин [и др.]; под общ. ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 540 с.
10. Блинова И.В., Соколова И.Д. Ликвидация последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. // Атомная техника за рубежом. 2012. № 4. С. 3–15.
11. Степаненко В.Ф., Хоши М. Авария на АЭС Фукусима-1: дозы облучения персонала при аварийных работах и населения. Обзор данных японских специалистов // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2014. № 2. С. 16–25.
12. Блинова И.В., Соколова И.Д. Работы на АЭС «Фукусима-1» в 2016 г. // Атомная техника за рубежом. 2017. № 6. С. 15–25.
13. Яргин С.В. Лесные пожары в радиоактивно загрязненных зонах // Мед. рад. и рад. безоп. 2011. № 3. С. 74.
14. Микеев А.К. Пожары на радиационно-загрязненных территориях – источник экологической опасности // Пожарная безопасность. 2000. С. 83–86.
15. Коннова Л.А., Рекунов С.Г., Шарапов С.В. Безопасность жизнедеятельности на радиационно-загрязненных территориях: учеб. пособие. СПб., 2015. 95 с.
16. Баллонов М.И. Медицинские и экологические последствия Чернобыльской аварии в докладе НКДАР ООН (2008): уроки для реагирования на ядерные аварии. М., 2011.
17. Высвечено Чернобылем: интервью с академиком В. Легасовым // Химия и жизнь. 1987. № 4. С. 9–17.

## **СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Е.Н. Трофимец, кандидат педагогических наук, доцент;**

**Я.В. Алексеенко.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Описан синергетический подход к исследованию уравнения Пуассона с применением современных информационно-телекоммуникационных технологий на примере проведения лабораторного занятия по дисциплине «Уравнения математической физики». Отражена роль синергетической парадигмы в применении информационно-коммуникационных технологий в аспекте проведения обучения в учебных заведениях.

*Ключевые слова:* синергетика, педагогика, уравнение Пуассона, информационные технологии, образование, синергетический подход



# SYNERGETIC APPROACH TO A RESEARCH OF THE EQUATION OF POISSON WITH USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

E.N. Trophimets; Ya.V. Alekseenko.

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

In article synergetic approach to a research of the equation of Poisson with use of modern information and telecommunication technologies on the example of holding a laboratory research for discipline of «The equation of mathematical physics» is described. In article the role of a synergetic paradigm is reflected in application of information and communication technologies in aspect of carrying out training in educational institutions.

*Keywords:* synergy, pedagogics, Poisson's equation, information technologies, education, synergetic approach

В 70-х гг. XX в. сформировалось новое научное направление, получившее название синергетика (от др.-греч. συν- – приставка со значением совместности и ἔργον «деятельность»). Синергетика является междисциплинарным научным направлением, которое направлено на изучение закономерностей самоорганизации и спонтанного порядкаобразования. Герман Хакен первый обнаружил, что в различных явлениях при переходе от неупорядоченности к порядку наблюдается сходное поведение элементов. Данное явление получило название – синергетический эффект. Синергетика имеет междисциплинарный характер, что приводит к использованию понятийного аппарата различных наук (точных и естественных наук, общенаучных направлений, философии). Таким образом, синергетика является не просто новым научным направлением, а научной парадигмой.

Синергетика относится к тем областям знания, которые изучают сложные системы, явления самоорганизации. Предметом синергетики являются механизмы самоорганизации. Идеи самоорганизации заключаются в том, что они признают способность различных систем к саморазвитию как за счет внешнего притока энергии (информации, вещества), так и за счет возможностей самой системы. Концепция синергетики позволяет более глубоко познать сложные, нелинейные, открытые системы. К таким системам относится и система образования. В педагогике синергетику можно рассматривать в аспекте синтеза взаимодействий в процессах воспитания и самовоспитания, обучения и самообучения, которые материализуются в личности обучающихся. Использование в педагогике синергетического подхода позволяет подойти к рассмотрению проблем развития педагогических систем с точки зрения открытости, сотворчества и направленности на саморазвитие. То есть синергетика играет роль одного из методологических принципов педагогики [1–2].

Во время процесса обучения между преподавателем и обучающимся происходит обмен информацией (знаниями), а также целенаправленный поиск новой информации (знаний). Это приводит к появлению новых целей, методов и средств обучения. Также происходит изменение содержания образования по причине его несоответствия системе знаний и умений обучающихся в данный момент. Происходит нелинейность процесса и результата. Результат образовательного процесса всегда отличен от замыслов его участников. Процесс постоянного увеличения образовательного информационного пространства выводит систему из состояния устойчивого равновесия [3].

Синергетика базируется на принципе развития систем по нелинейным законам, другими словами, этот принцип можно выразить в наличии многих вариантов и альтернатив выбора. Проецирование данного принципа на педагогику позволяет показать, что в процессе обучения существуют условия выбора и предоставление каждому субъекту возможности индивидуального движения к конечной цели, самостоятельности выбора и принятия

решения, развитие альтернативного и самостоятельного пути. Другими словами – наличие возможности выбора индивидуального подхода в траектории образования [4].

Принципы синергетики показывают, что в процессе обучения отсутствуют абсолютный беспорядок и бесструктурность. Так хаос, случайность и дезорганизация являются не только негативными явлениями, но, в определенных условиях, они являются конструктивными и созидательными факторами [5].

В современном мире на процесс самоорганизации в педагогике оказывает влияние развитие современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). ИКТ применяется почти во всех сферах деятельности современного общества. Исключением не является и педагогика. Влияние ИКТ на процесс обучения особенно заметно в тех областях, где требуется проведение процессов вычислений, моделирования и т.п. Таким образом, можно наблюдать активную информатизацию дидактического аспекта математических наук [6–7].

Синергетический подход в математических науках с использованием ИКТ позволяет значительно увеличить количество возможных вариантов и альтернатив выбора в процессе обучения. Этот подход позволяет по-новому подойти к процессу обучения математическим наукам [8].

Современные ИКТ позволяют осуществлять расчеты математических задач «на лету», в режиме квазиреального времени. Это позволяет возложить выполнение сложных математических расчетов как с точки зрения сложности непосредственно самих математических расчетов, так и самой процедуры относительно несложных математических расчетов, но требующих больших трудозатрат времени на «плечи» ИКТ. Во многих вузах различного профиля наблюдается активное применение ИКТ при обучении математическим дисциплинам. Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России не является исключением. При проведении практических занятий, лабораторных работ активно применяются современные ИКТ. Как пример при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Уравнения математической физики» применяются современные персональные компьютеры с установленным специализированным программным обеспечением – Mathcad.

Применение современных ИКТ в процессе обучения позволяет закрепить теоретические знания, что выражается в уверенных навыках и умениях применения математических методов во всевозможных аспектах инженерной деятельности. Применение ИКТ в образовании создают новую открытую систему – преподаватель/обучающийся/ИКТ. Эта система в процессе самоорганизации приходит к конечной цели по своему уникальному пути [9].

Эффективный педагогический аспект выполнения информационной деятельности и информационного взаимодействия определяется реализацией следующих дидактических возможностей ИКТ при обучении математическим дисциплинам:

- интерактивность при взаимодействии пользователя и средством/средствами ИКТ, то есть каждое действие и запрос пользователя активизирует ответное действие средства ИКТ и, наоборот, ответ системы требует определенной реакции пользователя;
- средство ИКТ, в частности – персональный компьютер, позволяет визуализировать информацию, представлять ее в наглядном виде на средстве отображения информации ИКТ;
- обеспечение компьютерного моделирования объектов, процессов, явлений и т.п. с предоставления различных моделей (математических, наглядной и др.) адекватно оригиналу;
- автоматизация рутинных операций, таких как выполнение различных вычислений; сбор, обработка, передача, хранение и других, с предусмотренной возможностью легкого и оперативного доступа к запрашиваемой информации [10–11].

При изучении дисциплины «Уравнения математической физики» требуется сформировать у обучающихся умения по построению математических моделей профессиональных (практических) задач, а также решение ее как аналитическими, так и численными методами. Таким образом, формируется математическая компетенция в аспекте профессиональной ориентации обучающегося. Хотелось бы отметить, что при этом вышеуказанные компетенции необходимо рассматривать как математические знания, умения

и навыки в деятельностном подходе, то есть учитывая их практическое применение в профессиональных аспектах.

При изучении дисциплины «Уравнения математической физики» активно применяются специализированные программные средства, к примеру Mathcad. Данное программное обеспечение (ПО) позволяет находить решения уравнения Пуассона с нулевыми граничными условиями; решения уравнения Пуассона с произвольными граничными условиями, а также выполнять моделирование температурного поля платы компьютера с тремя микросхемами. Выполнение подобных практических задач с применением ИКТ позволяет воспитать у обучающихся творческий подход к решению задач, а также воспитать познавательный интерес к изучаемой дисциплине. Применение ИКТ позволяют сосредоточить внимание обучающегося не на рутинном выполнении задания, а на понимании как самого физического процесса, применяемого математического аппарата, а также наглядного представления результатов вычислений и моделирования.

Так, на рис. 1–5 представлен пример решения уравнения Пуассона с нулевыми граничными условиями с использованием ПО Mathcad [12].

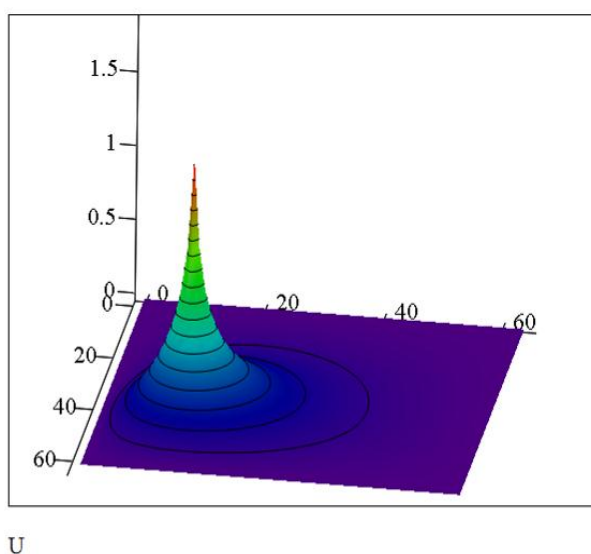


Рис. 1. График поверхности с одним точечным источником тепла

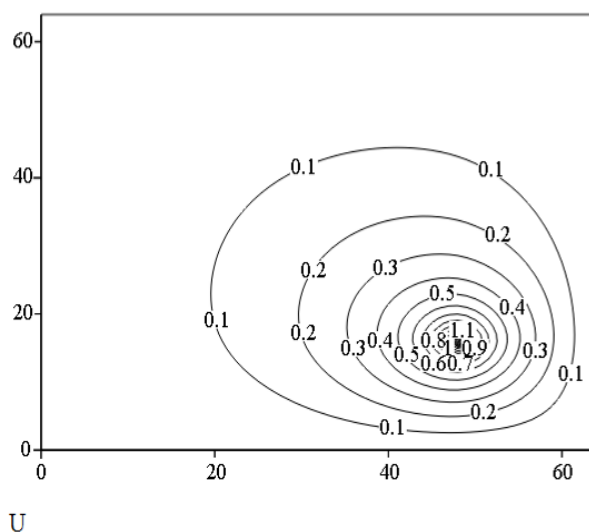


Рис. 2. График линий уровня с одним точечным источником тепла

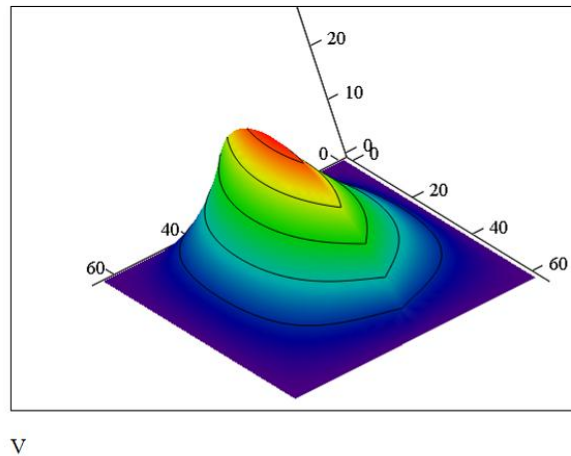


Рис. 3. График поверхности для постоянного источника тепла вдоль линии  $0,5L$

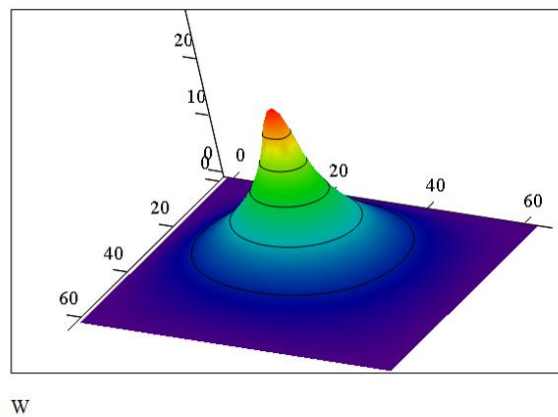


Рис. 4. График поверхности для постоянного источника тепла в виде пучка

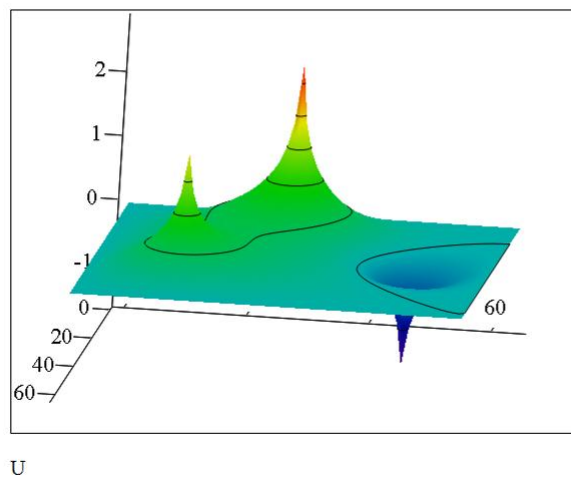


Рис. 5. График поверхности с двумя источниками тепла и одним стоком

На рис. 1 представлен график решения задачи с одним точечным источником тепла. При решении практического задания можно задать второй источник тепла с координатами, к примеру,  $(20,30)$  и интенсивностью  $11^4$ , а также сток (поглотитель) тепла с координатами  $(30,50)$  и интенсивностью  $-10^4$ . В результате вычислений на экране будет отображен

результат, представленный на рис. 5. Далее обучающимся можно предложить матрицу решений (рис. 6).

+

$$U =$$

	60	61	62	63	64
49	-0.012	-9.646·10 <sup>-3</sup>	-6.619·10 <sup>-3</sup>	-3.366·10 <sup>-3</sup>	0
50	-9.702·10 <sup>-3</sup>	-7.635·10 <sup>-3</sup>	-5.261·10 <sup>-3</sup>	-2.682·10 <sup>-3</sup>	0
51	-7.48·10 <sup>-3</sup>	-5.931·10 <sup>-3</sup>	-4.109·10 <sup>-3</sup>	-2.101·10 <sup>-3</sup>	0
52	-5.623·10 <sup>-3</sup>	-4.506·10 <sup>-3</sup>	-3.142·10 <sup>-3</sup>	-1.613·10 <sup>-3</sup>	0
53	-4.097·10 <sup>-3</sup>	-3.328·10 <sup>-3</sup>	-2.342·10 <sup>-3</sup>	-1.208·10 <sup>-3</sup>	0
54	-2.859·10 <sup>-3</sup>	-2.372·10 <sup>-3</sup>	-1.69·10 <sup>-3</sup>	-8.778·10 <sup>-4</sup>	0
55	-1.883·10 <sup>-3</sup>	-1.61·10 <sup>-3</sup>	-1.169·10 <sup>-3</sup>	-6.134·10 <sup>-4</sup>	0
56	-1.131·10 <sup>-3</sup>	-1.021·10 <sup>-3</sup>	-7.631·10 <sup>-4</sup>	-4.069·10 <sup>-4</sup>	0
57	-5.798·10 <sup>-4</sup>	-5.81·10 <sup>-4</sup>	-4.589·10 <sup>-4</sup>	-2.51·10 <sup>-4</sup>	0
58	-1.947·10 <sup>-4</sup>	-2.708·10 <sup>-4</sup>	-2.403·10 <sup>-4</sup>	-1.382·10 <sup>-4</sup>	0
59	4.585·10 <sup>-5</sup>	-6.698·10 <sup>-5</sup>	-9.359·10 <sup>-5</sup>	-6.16·10 <sup>-5</sup>	0
60	1.726·10 <sup>-4</sup>	4.91·10 <sup>-5</sup>	-5.49·10 <sup>-6</sup>	-1.449·10 <sup>-5</sup>	0
61	2.068·10 <sup>-4</sup>	9.624·10 <sup>-5</sup>	3.559·10 <sup>-5</sup>	9.142·10 <sup>-6</sup>	0
62	1.748·10 <sup>-4</sup>	9.193·10 <sup>-5</sup>	4.245·10 <sup>-5</sup>	1.554·10 <sup>-5</sup>	0
63	9.819·10 <sup>-5</sup>	5.421·10 <sup>-5</sup>	2.681·10 <sup>-5</sup>	1.057·10 <sup>-5</sup>	0
64	0	0	0	0	...

Рис. 6. Матрица решений

При построении матрицы решений необходимо обратить внимание на тот факт, что все граничные элементы матрицы равны 0 (условие применения функции Mathcad – multigrid). В том случае, если по условиям задачи граничные условия не равны 0, то необходимо воспользоваться функцией Mathcad relax.

Применяя Mathcad, можно наглядно продемонстрировать практическое применение решений уравнения Пуассона с произвольными граничными условиями. Для этого требуется применять функцию Mathcad – relax. Применение данной функции подразумевает выполнение определенного алгоритма действий:

1. Задать пять квадратных матриц a, b, c, d, e. Эти матрицы будут содержать коэффициенты в формуле приближенного вычисления оператора Лапласа:

$$(\Delta u)_{ij} = a_{ij} \cdot u_{i+1j} + b_{ij} \cdot u_{i-1j} + c_{ij} \cdot u_{i+1j} + d_{ij} \cdot u_{i-1j} + e_{ij} \cdot u_{ij}.$$

Стандартные значения для элементов этих матриц:

$$a_{ij} = b_{ij} = c_{ij} = d_{ij} = 1, e_{ij} = 4a_{ij}.$$

Размер этих матриц может быть выбран любой. Главное, чтобы все матрицы, задаваемые для функции relax, были одинакового размера.

2. Задать матрицу F, задающую интенсивность источника в каждой точке квадратной области. Если все элементы этой матрицы имеют нулевые значения, то полученный результат будет решением уравнения Лапласа.

3. Задать матрицу v. Первый и последний столбцы и первая и последняя строки этой матрицы задают граничные условия для решения уравнения. Значения внутренних элементов матрицы не играют особой роли, а используются лишь как начальное приближение при поиске решения.

4. Теперь можно использовать функцию relax. Это делается следующим образом:

$$U := \text{relax}(a, b, c, d, e, F, v, r).$$

Здесь r – так называемый спектральный радиус Якоби. Это число в диапазоне от 0 до 1. Если функция relax не может решить уравнение, необходимо уменьшить значение спектрального радиуса.

Для функции relax, как и для multigrid, единственным параметром, контролирующим точность, является размер используемых матриц. При использовании функции relax не следует забывать о том, что все матрицы должны быть квадратными и их размеры должны совпадать.

Ввести исходные данные и решить уравнение Пуассона в соответствии с рис. 7.

Решение:

$n := 32$	определение размеров сетки
$i := 0..n \quad j := 0..n$	
$a_{i,j} := 1 \quad b := a \quad c_{i,j} := a$	матрицы с коэффициентами в формуле
$d := a \quad e_{i,j} := -4 \cdot a$	приближенного вычисления оператора Лапласа
$F_{i,j} := 0.05$	интенсивность источников тепла во всех узлах постоянная
	Граничные условия:
$v_{0,j} := 0$	по верхней границе
$v_{n,j} := 2 \cdot \cos\left(4\pi \frac{j}{n}\right)$	по нижней границе
$v_{i,0} := 2 \cdot \frac{i}{n} \quad v_{i,n} := 2 \cdot \frac{i}{n}$	по бокам
$r := 1 - \frac{2 \cdot \pi}{n} = 0.804$	спектральный радиус Якоби
$U := \text{relax}(a, b, c, d, e, -F, v, r)$	

Рис. 7. Листинг решения уравнения Пуассона с произвольными граничными условиями

График поверхности представлен на рис. 8.

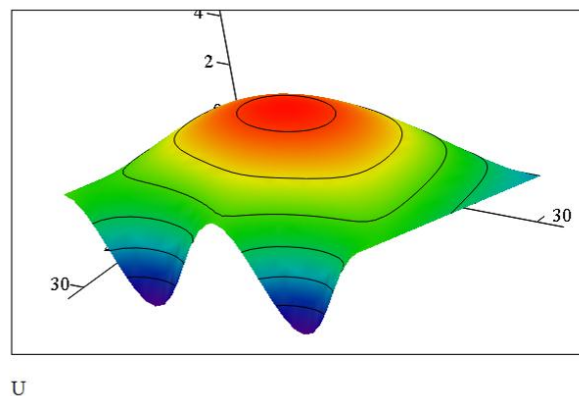


Рис. 8. График поверхности решения уравнения Пуассона с произвольными граничными условиями

Изменить условия задачи в соответствии с рис. 9.

$F_{i,j} := 0.05$	
$F_{10,20} := 30$	интенсивность источников тепла
$F_{20,10} := 20$	
	Граничные условия:
$v_{0,j} := 0$	по верхней границе
$v_{n,j} := 0$	по нижней границе
$v_{i,0} := 10 \quad v_{i,n} := 10$	по бокам
$U := \text{relax}(a, b, c, d, e, -F, v, r)$	

Рис. 9. Измененные условия задачи

График поверхности представлен на рис. 10.

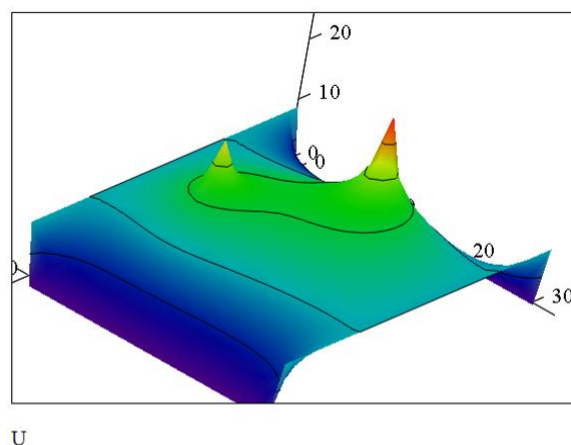


Рис. 10. График поверхности с измененными условиями задачи

После выполнения практических заданий необходимо определить степень усвоения материала обучаемых, а также провести индивидуальную работу каждого и его степень усвоения материала. В целях закрепления и более глубокого понимания материала необходимо дать задание на самоподготовку.

Таким образом, применение ИКТ при проведении занятий по математическим дисциплинам, в частности по дисциплине «Уравнения математической физики», позволяют обеспечить синергетический эффект, что выражается в более глубоком понимании обучающимися сущности и «физики» рассматриваемого вопроса. При этом обучающиеся, имея базовые теоретические знания, могут сконцентрироваться на решении практических задач, применяя соответствующие средства ИКТ. Таким образом, консолидация принципов синергетики, современных ИКТ и принципов педагогики позволяет повысить эффективность решения дидактических задач.

### Литература

1. Гвоздева А.В., Хтун Хтун Наинг. Синергетический подход к методам обучения // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2015. № 1 (33).
2. Гапонцева М.Г., Федоров В.А., Гапонцев В.Л. Синергетический подход в педагогической науке: границы и условия применения // Образование и наука. 2006. № 5.
3. Ionova E.N. System-synergetic approach to the analysis of Waldorf school // Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports. 2012. № 3. С. 61–64.
4. The synergetic approach to effective teachers' research education: An innovative initiative for building educational research capacity in a Hispanic-serving institution / Lu M. T. P. [et al.] // Journal of Hispanic Higher Education. 2014. Т. 13. № 4. С. 269–284.
5. Abd-El-Khalick F. Nature of science in science education: Toward a coherent framework for synergistic research and development // Second international handbook of science education. Springer Netherlands, 2012. С. 1 041–1 060.
6. Розанова С.А., Санина Е.И., Кузнецова Т.А. Дидактические возможности информационных и коммуникационных технологий в обучении математике в вузе // Вестник РУДН. Сер.: Информатизация образования. 2012. № 3.
7. Трофимец Е.Н. Информационные технологии математического моделирования в экономических вузах // Образовательные технологии и общество. 2012. Т. 15. № 1. С. 414–423.
8. Computer simulations of electrodiffusion problems based on Nernst–Planck and Poisson equations / J.J. Jasielec [et al.] // Computational Materials Science. 2012. Т. 63. С. 75–90.

9. Munoz A., Young S. Two-dimensional model for predicting performance of aerated grit chambers // Journal of Environmental Engineering and Science. 2013. Т. 8. № 3. С. 391–402.
10. The peculiarities of qualitative information, analytical maintenance innovative and educational activity technological projection in higher educational institution / J.V. Torkunova [et al.] // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 8. С. 498–503.
11. Оценка эффективности внедрения инноваций в процесс подготовки специалистов для силовых структур и оборонно-промышленного комплекса / А.М. Батьковский [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. 2016. С. 114–121.
12. Трофимец Е.Н. Применение информационных технологий математического моделирования в вузах МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 3 (23). С. 66–70.
-



---

---

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

---

---

## **ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

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

**А.С. Константинова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены различия теплового режима пожара в помещениях различного функционального назначения. Проанализировано влияние теплового режима пожара на предел огнестойкости ограждающих конструкций помещения на основании расчетов в программном комплексе ELCUT 6.3.

*Ключевые слова:* предел огнестойкости, тепловой режим пожара, ELCUT 6.3

## **INFLUENCE OF FEATURES OF THE THERMAL MODE OF FIRE INDOORS ON FIRE RESISTANCE OF THE PROTECTING BUILDING CONSTRUCTIONS**

**N.N. Romanov; A.S. Konstantinova.**

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

Differences of the thermal mode of the fire in rooms of various functional purpose are considered. Influence of the thermal mode of the fire on a limit of fire resistance of the protecting structures of the room on the basis of calculations in the program ELCUT 6.3 complex is analysed.

*Keywords:* fire resistance limit, thermal mode of the fire, ELCUT 6.3

Одним из ключевых факторов обеспечения безопасности людей, пребывающих в помещениях зданий и сооружений различного функционального назначения, является соблюдение требований пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации данных зданий и сооружений. В свою очередь, одним из важнейших элементов обеспечения пожарной безопасности является соблюдение требований нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности, касающихся требуемого предела огнестойкости строительных конструкций.

Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] определяет предел огнестойкости как период времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из предельных состояний, нормированных для испытываемой конструкции.

Предельным состоянием называется такое состояние, по достижении которого конструкция становится неспособной выполнять несущие или ограждающие функции в условиях пожара.

К основным видам предельных состояний относятся:

- утрата несущей способности;
- утрата целостности – появление сквозных отверстий/трещин, сквозь которые могут проникать продукты сгорания или пламя;
- утрата теплоизолирующей способности – характеризуется повышением температуры на необогреваемой стороне конструкции до предельных значений [2].

На предел огнестойкости строительной конструкции оказывают влияние различные факторы:

- материал, из которого изготовлена конструкция;
- наличие огнезащитного покрытия;
- площадь сечения обогреваемого элемента конструкции;
- форма обогреваемого элемента конструкции;
- тепловой режим пожара и др.

Под тепловым режимом пожара понимают динамику изменения температурного поля внутри помещения, где происходит горение, с течением времени.

Особенности теплового режима пожара так же зависят от ряда факторов:

- геометрия и размеры помещения;
- характеристика газообмена;
- вид горючего вещества или материала и его количество;
- время от начала пожара и др.

При проведении огневых испытаний строительной конструкции в печи обеспечивается тепловой режим, развитие которого можно описать соотношением:

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

где  $T$  – температура парогазовой среды внутри печи по прошествии времени  $\tau$  после начала испытания, °C;  $T_0$  – температура внутри печи до начала испытаний, °C;  $\tau$  – временной период от начала испытания, мин.

Зависимость (1) называется стандартной температурной кривой.

Однако большое количество экспериментальных данных показывает, что температурный режим реального пожара может значительно отличаться от стандартного сценария (рис. 1) [3]. В отдельных случаях эти отличия могут оказывать существенное влияние на оценку значения предела огнестойкости ограждающих конструкций.

При этом определение предела огнестойкости посредством огневых испытаний в условиях различных тепловых режимов (например, при различных вариациях вида, количества и расположения пожарной нагрузки) будет представлять собой достаточно дорогостоящее и длительное по времени мероприятие. Это обстоятельство обуславливает целесообразность применения специальных программных комплексов для оценки предела огнестойкости ограждающей строительной конструкции под воздействием греющей среды, температура которой изменяется по условиям различных температурных режимов.

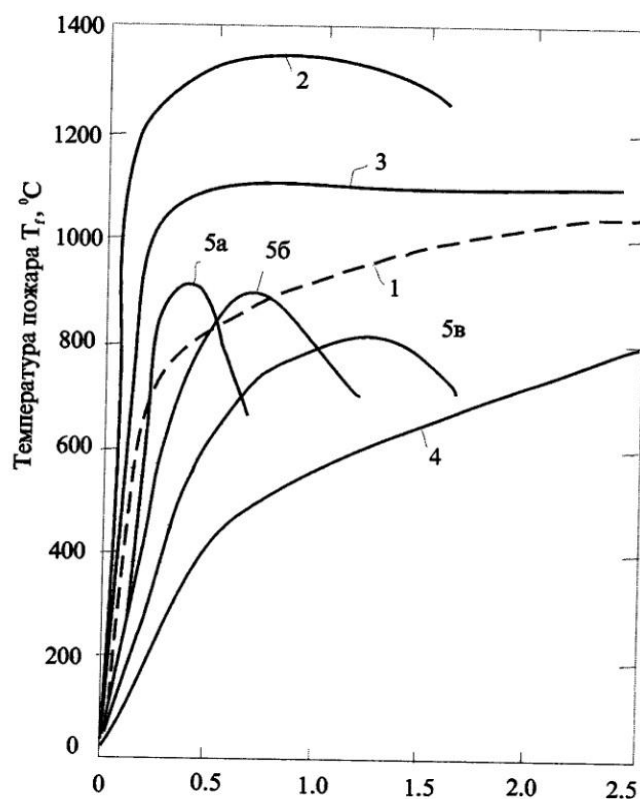


Рис. 1. Температурные режимы пожаров в помещениях зданий и сооружений различного назначения:

1 – стандартная температурная кривая; 2 – тепловой режим пожара в туннеле; 3 – тепловой режим пожара в помещениях зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности; 4 – тепловой режим пожара в подвальном помещении; 5 – тепловой режим пожара в опытном помещении, приближенном к жилому с различной площадью проемов (5а – 2 м<sup>2</sup>; 5б – 1,5 м<sup>2</sup>; 5в – 10 м<sup>2</sup>), пожарная нагрузка – древесина 58 кг/м<sup>2</sup>

Рассмотрим параметры температурного поля в сечении железобетонной плиты-перекрытия при стандартном температурном режиме и при пожаре в помещении здания нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (рис. 1, график № 3). Для расчета воспользуемся программным комплексом ELCUT 6.2 [4].

Геометрические параметры перекрытия представлены на рис. 2. Перекрытие выполнено из бетона марки М350, арматура – сталь 35ГС.

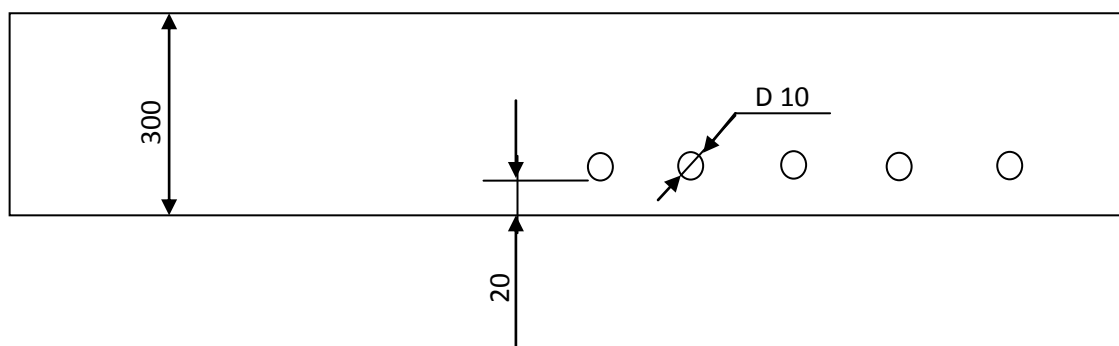


Рис. 2. Размеры и схема армирования железобетонного перекрытия

Теплофизические свойства материалов перекрытия [5] представлены в таблице.

Таблица. Теплофизические свойства материалов перекрытия

Параметр	Бетон М350	Сталь 35ГС
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2 300	7 600
Теплопроводность, Вт/м °С	$1,42 - 11 \cdot 10^{-4}t$	$58 - 0,042t$
Теплоемкость, кДж/кг °С	$0,77 + 6,3 \cdot 10^{-4}t$	$0,47 + 2,1 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-7}t^2$

Моментом утраты несущей способности перекрытия является момент прогревания нижнего слоя арматуры (рис. 1) до критической для стали температуры (400–500 °С). Для расчета примем значение критической температуры 700 К.

Для расчета температурного поля по сечению перекрытия в комплексе ELCUT 6.2 зададим граничные условия 3-го рода – режим изменения температуры греющей среды  $T(\tau)$  и коэффициент теплообмена  $\alpha$  (рис. 3).

☒ Конвекция:  $F_n = \alpha (T - T_0)$

$\alpha = 11.63 \cdot \exp(0.0023 \cdot (T - 273))$  (Вт/К·м<sup>2</sup>)

$T_0 = 345 \cdot \log(8 \cdot t / 60 + 1) + 293$  (К)

**f**

Рис. 3. Граничные условия 3-го рода при стандартном температурном режиме

ELCUT 6.2 дает возможность вывести результаты расчета температуры в выбранной точке сечения на различные моменты времени. Выберем в качестве контрольной точки центр прута арматуры нижнего ряда (точку на расстоянии 25 мм от нижней поверхности перекрытия). Рассчитанные результаты значения температуры на различные моменты времени приведены на рис. 4.

900		1800		2700		3600	
L (м)	T (K)	L (м)	T (K)	L (м)	T (K)	L (м)	T (K)
0.00000	1947.55	0.00000	2185.25	0.00000	2324.66	0.00000	2423.67
0.00500000	1577.22	0.00500000	1786.46	0.00500000	1895.57	0.0050...	1966.24
0.0100000	1206.89	0.0100000	1387.67	0.0100000	1466.47	0.0100000	1508.80
0.0150000	836.560	0.0150000	988.882	0.0150000	1037.37	0.0150000	1051.36
0.0199802	467.697	0.0199802	591.671	0.0199802	609.977	0.0199802	595.734
0.0250000	464.322	0.0250000	588.655	0.0250000	608.195	0.0250000	594.882

Рис. 4. Значения температуры в контрольной точке на различные моменты времени

Повторим данный расчет для теплового режима пожара, представленного под № 3 на рис. 1. На участке  $\tau=[0; 60]$  закон изменения температуры газовой среды в помещении можно задать в виде:

$$T(\tau) = 0,021 \cdot \left(\frac{\tau}{60}\right)^3 - 2,6 \cdot \left(\frac{\tau}{60}\right)^2 + 98,04 \cdot \left(\frac{\tau}{60}\right) + 226,3. \quad (2)$$

Результаты расчета температуры на различные моменты времени в той же точке при новом температурном режиме представлены на рис. 5.

900		1800		2700		3600	
L (м)	T (K)	L (м)	T (K)	L (м)	T (K)	L (м)	T (K)
0.00000	1182.78	0.00000	1394.50	0.00000	1286.72	0.00000	1284.70
0.00500000	987.763	0.00500000	1192.07	0.00500000	1141.78	0.00500000	1155.08
0.01000000	792.751	0.01000000	989.648	0.01000000	996.838	0.01000000	1025.46
0.01500000	597.740	0.01500000	787.222	0.01500000	851.895	0.01500000	895.841
0.0199802	403.500	0.0199802	585.598	0.0199802	707.526	0.0199802	766.735
0.02500000	400.954	0.02500000	580.809	0.02500000	702.322	0.02500000	762.141

Рис. 5. Значения температуры в контрольной точке на различные моменты времени при развитии пожара по уравнению (2)

Выведем значения температуры в центре прута арматуры с интервалом 3 мин при стандартном температурном режиме и при режиме, выведенном для помещения здания нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (рис. 6).

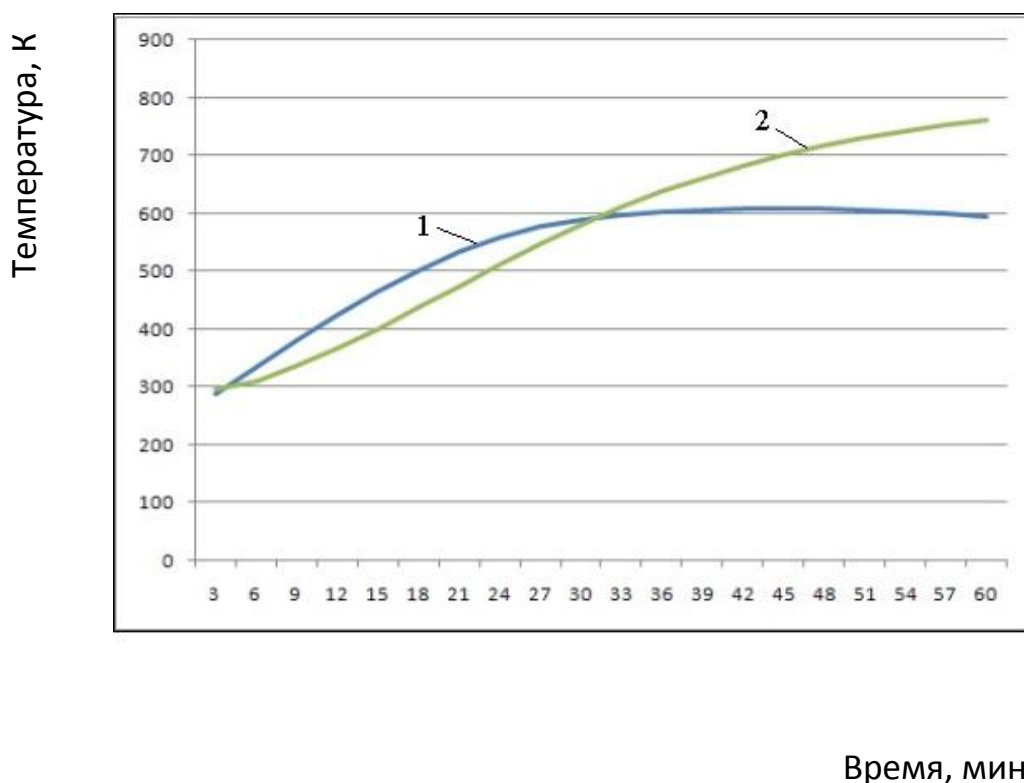


Рис. 6. Графики изменения температуры в центре арматурного прута:  
1 – в условиях стандартного пожара; 2 – в условиях пожара в помещении здания нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности

На данных графиках можно наблюдать значительную разницу в значениях температуры внутри арматуры перекрытия уже приблизительно после 35 минуты расчета. Температура в сечении прута при стандартном режиме в течение 1 ч лишь незначительно превышает отметку в 600 К, то есть через 60 мин конструкция должна сохранять свою несущую способность. На графике 2 (рис. 6), отражающем сценарий пожара, основанный

на экспериментальных данных о реальном пожаре в здании нефтеперерабатывающей промышленности, видно, что принятая в качестве критической температура 700 К достигается внутри арматуры приблизительно на 45 минуте.

Таким образом, на основании расчетных данных можно сделать вывод, что значение предела огнестойкости одной и той же ограждающей конструкции существенно отличается при различных вариантах динамики теплового режима пожара. Этот факт диктует необходимость использования в качестве исходных данных при расчетном определении предела огнестойкости конструкции параметров теплового режима, основанных на фактической пожарной нагрузке, находящейся в данном помещении. В настоящей статье наглядно показано, что использование при расчетах уравнения стандартного теплового режима способно стать причиной ошибочного определения предела огнестойкости ограждающих конструкций, что, в свою очередь, способно создать угрозу для людей, пребывающих в помещении.

### **Литература**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834-75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.03.2018).
3. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. 382 с.
4. ELCUT ® Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.3 – Руководство пользователя. ООО «Тор», 2017.
5. Основы пожарной теплофизики: учеб. для пожарно-техн. училищ / М.П. Башкирцев [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1984. 200 с.

## **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ**

**А.И. Трубилко, кандидат физико-математических наук, доцент;**

**Л.А. Трубилко.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

На примере простой задачи электростатики рассмотрены некоторые вопросы безопасности от статического электричества. Электрический разряд моделируется соединением заряженных проводящих тел проводником.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, задачи электростатики

## **FIRE SAFETY IN SOME ELECTROSTATICS PROBLEMS**

A.I. Trubilko; L.A. Trubilko.

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

By using simple electrostatic problem the fire safety is considered. The coupling of electrical charge the electrical discharge is modeled.

*Keywords:* fire safety, electrostatics problems

В работах [1, 2] была продемонстрирована возможность применения простых задач механики в решении некоторых вопросов безопасности жизнедеятельности для случаев движения механических систем. Так, в частности, были обсуждены вопросы безопасности дорожного движения, акцентировано внимание на вопросах безопасности при высотных работах и работах со страховками. Эти ситуации достаточно распространены, а их наглядная и доступная демонстрация и обоснование с помощью законов классической механики, безусловно, способствует формированию понимания существа процессов с точки зрения физического описания и его восприятия.

Представляется, что именно такое рассмотрение не только механических, но и целого ряда других физических явлений, должно способствовать формированию инженерной грамотности и исследовательской направленности будущих специалистов. В этих работах, как и в представленной здесь, авторы стремились пропагандировать главный и всеобъемлющий, на взгляд авторов, тезис – основой безопасности жизнедеятельности является соблюдение фундаментальных законов естествознания. Понимание и соблюдение последних является залогом или, во всяком случае, решающим фактором для обеспечения безопасности в любой сфере жизнедеятельности человека.

В этой работе авторы продолжают представление возможности рассмотрения простых явлений с помощью фундаментальных законов. В качестве проблемы, которая представлена, рассмотрим пожарную опасность, связанную со статическим электричеством. Как хорошо известно, такого рода причина повышенной опасности достаточно часто приводит к образованию искры между заряженными телами, что и является в большинстве случаев причиной пожара. Конкретные методики расследования пожаров в этих случаях известны и довольно подробно описаны в литературе [3, 4]. Здесь не будем останавливаться на технических деталях и оценках возможностей этих методов.

Основной целью этой работы является наглядное представление одного из способов описания рассматриваемого явления с точки зрения законов электростатики, известных из общего курса физики. Именно поэтому рассматривается задача о двух заряженных сферических поверхностях, заряды на которых и их радиусы могут изменяться в широких пределах. В качестве моделирования процесса разряда выбираем самый простой случай, когда эти заряженные тела соединяются тонким проводником. Как оказывается, такая типичная и в то же время чрезвычайно простая модель позволяет рассмотреть некоторые эффекты при электростатическом разряде. Для оценки энергии разряда выбирается определение изменения энергии такой электростатической системы до и после него. Вопрос о том, как возникает разряд, связан с определением величины электростатического поля от заряженного элемента. Известным рассмотрением показано, что величина напряженности, которая может приводить к ионизации приповерхностного слоя и отвечать за начальную стадию возникновения разряда, определена геометрическим размером проводника, точнее величиной его микронеровности. На основе этой же модели рассмотрен эффект заземления, служащий для защиты приборов и людей от внешних электростатических полей. Наконец, оценивается изменение емкости и энергии электростатического поля из-за наличия пространственной неоднородности на заряженной поверхности.

### **Определение энергии при разряде в рамках простой модели электростатики**

Как хорошо известно, физические тела, обладающие электрическим зарядом, вступают в общем случае в электромагнитные взаимодействия. Сам электрический заряд как раз и является мерой такого взаимодействия. Если заряженные тела неподвижны в данной системе отсчета, то такая система является электростатической. Электрические заряды создают в окружающем пространстве электрическое поле, которое характеризуется напряженностью и потенциалом. Напряженность – есть векторная характеристика поля, определяемая силой действующей на единицу пробного положительного заряда,

помещенного в эту точку пространства. Потенциал – скалярная характеристика поля, определяемая потенциальной энергией данной точки пространства, отнесенной к величине пробного заряда, помещенного в эту точку пространства.

Если между двумя заряженными телами есть промежуток пространства, заполненный средой, то при напряжении или разности потенциалов больше пробойного (критического) значения происходит электрический разряд, длящийся достаточно малый промежуток времени, величина которого составляет порядка микросекунд. Заметим, что если заряженные тела взаимодействуют в вакууме, то большая разность потенциалов между ними при определенных условиях может вызвать родственные явления автоэлектронной и взрывной эмиссии.

Авторы попытаются объяснить с помощью простых законов электростатики это явление. Можно отметить, что именно оно и является причиной пожаров на многих промышленных производствах, где в результате различных процессов возникает образование заряженных проводников и диэлектриков. К таким производствам относятся – целлюлозно-бумажное и полиграфическое, производство пластмасс, клея, краски, масел и т.д., мебельное производство, ткацкое производство, эксплуатация ременных передач, хранение зерновых, производства, использующие движение газов со взвешенными частицами по воздуховодам, нефтепереработка и нефтехранение, медицинские установки и ряд других.

В качестве основного условия, при котором возникает искровой разряд, обычно принимают следующее:

$$W_S \geq W_{\min},$$

где  $W_S$  – энергия разряда статического электричества;  $W_{\min}$  – минимальная энергия зажигания горючей смеси. Значение величины последней известно из экспериментов и приводится в большинстве учебников. Так, для взрывоопасных смесей  $W_{\min}$  составляет достаточно малую величину 0,009÷250 мДж. Как оценить и определить величину энергии искры и как может изменяться энергия электростатической системы будет рассмотрено в данной статье.

В качестве модели рассмотрим экспериментальную ситуацию, представленную на рис. 1. Пусть имеются две проводящие сферы, имеющие заряды  $q_1$  и  $q_2$ . Соединим эти емкости провололочкой и выясним, что произойдет с полной емкостью новой системы. Именно такое простое соединение провололочкой и моделирует искру. При этом для оценки изменения энергии системы нет необходимости моделировать сам процесс ее образования и развития. Достаточно будет только определить начальную и конечную энергию системы.

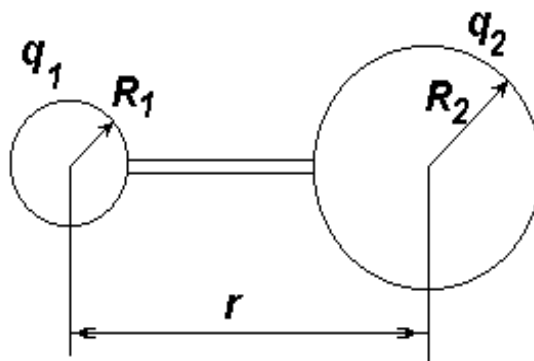


Рис. 1. Рассматриваемая экспериментальная ситуация



Заметим, что для однородной равномерно заряженной зарядом  $Q_0$  сферической поверхности, радиуса  $R$ , как и для шара, потенциал на поверхности определяется известным соотношением:

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_0}{R}, \quad (1)$$

а ее электрическая емкость формулой:

$$C_0 = \frac{Q_0}{\varphi_0} = 4\pi\epsilon_0 R. \quad (2)$$

Для вычисления величин зарядов  $q'_1$  и  $q'_2$  после соединения необходимо учесть, что перетекание зарядов с одной сферы на другую будет происходить до тех пор, пока потенциалы сфер не станут одинаковыми. Поэтому величины этих зарядов находятся как решение системы:

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \\ \frac{q'_1}{C_1} = \frac{q'_2}{C_2}. \end{cases}$$

В итоге имеем:

$$q'_1 = \frac{(q_1 + q_2)}{C_1 + C_2} C_1, \quad q'_2 = \frac{(q_1 + q_2)}{C_1 + C_2} C_2. \quad (3)$$

Нетрудно убедиться, что емкость данной системы равна сумме емкостей:

$$C = C_1 + C_2.$$

Определим теперь изменение энергии электростатического поля в такой изолированной от внешнего воздействия системе. Покажем, что в процессе перераспределения заряда энергия электростатического поля уменьшается. Вновь рассмотрим рис. 1. Напомним, что до соединения две сферы радиусами  $R_1$  и  $R_2$  обладали зарядами  $q_1$  и  $q_2$ . Теперь будем считать, что сферы расположены на расстоянии  $r$  друг от друга. Выясним, как изменится энергия электростатического поля после соединения или после прохождения искры. Энергия тел в изолированной системе равна сумме их собственных энергий и энергии взаимодействия тел. Напомним, что и суммарный заряд в изолированной системе остается постоянным при всех процессах перераспределения зарядов. Запишем энергию системы до соединения:

$$W = \frac{q_1^2}{2C_1} + \frac{q_2^2}{2C_2} + \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

и после него:

$$W' = \frac{q_1'^2}{2C_1} + \frac{q_2'^2}{2C_2} + \frac{q_1'q_2'}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где  $W$  – начальная энергия системы зарядов;  $W'$  – энергия системы после соединения сфер;  $q_1'$  и  $q_2'$  – заряды сфер после соединения, которые определены в данном случае согласно (3).

В результате для энергии  $W'$  получаем следующее выражение:

$$W' = \frac{(q_1 + q_2)^2}{2(C_1 + C_2)^2} \left( C_1 + C_2 + \frac{C_1 C_2}{4\pi\epsilon_0 r} \right).$$

В общем случае доказать, что  $W'$  меньше, чем  $W$  достаточно сложно. Поэтому рассмотрим несколько частных случаев.

1. Пусть изначально потенциалы сфер одинаковы, то есть:

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}.$$

Нетрудно показать, что в этом случае  $W = W'$ . Следовательно, если потенциалы заряженных тел равны друг другу, то между ними не происходит обмена зарядами и собственной энергией системы не меняется.

2. Пусть изначально заряды сфер равны по величине, но противоположны по знаку  $q_1 = -q_2$ . В этом случае  $W' = 0$  и, следовательно, вся энергия электростатического поля переходит в другие виды энергии, а, в конечном счете, в тепло.

3. Пусть изначально  $q_2 = 0$ . Этот случай интересен тем, что в процессе взаимодействия тел возрастает энергия их электростатического взаимодействия. Действительно, до соединения их энергия взаимодействия равнялась нулю, а после она стала равной:

$$\frac{q_1'q_2'}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} \frac{q_1^2 C_1 C_2}{(C_1 + C_2)^2}.$$

В литературе такая ситуация называется электростатическим парадоксом. Оказывается, что в этом случае происходит и уменьшение полной энергии, то есть  $W' < W$ . Доказательство последнего можно обосновать простыми и очевидными физическими соображениями. Если в соответствующих формулах положить  $q_2 = 0$ , то рассматриваемое неравенство сводится к следующему:

$$\frac{C_1}{(C_1 + C_2)^2} \left( C_1 + C_2 + \frac{C_1 C_2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) < 1. \quad (4)$$

Емкость сферы определена выражением (2). Нетрудно понять, что минимальное значение между центрами сфер равно  $r_{\min} = R_1 + R_2$ , что отвечает соприкосновению сфер.

Поэтому  $r \geq R_1 + R_2$ . Следовательно, если доказать справедливость неравенства (4) при значении  $r = r_{\min}$ , то и при больших значениях расстояния между центрами оно заведомо справедливо. Поэтому имеем:

$$\frac{R_1}{(R_1 + R_2)^2} \left( R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) < 1.$$

Обозначим  $x = R_2 / R_1$ , и перепишем:

$$\frac{1}{(1+x)} \left( 1 + \frac{x}{(1+x)^2} \right) < 1.$$

Нетрудно видеть, что при  $x > 0$  это неравенство выполняется.

Итак, на простом примере показано, что в процессе перераспределения заряда в изолированной системе энергия электростатического поля уменьшается за счет перехода в другие виды энергии. Этот процесс происходит до тех пор, пока потенциалы всех тел системы не примут одинаковое значение. Выделяющаяся при этом энергия и может являться причиной пожара.

### Влияние неоднородности уединенного проводника

Рассмотрим влияние и роль неоднородности поверхности проводника.

Продemonстрируем, что наличие неоднородности на поверхности проводника приводит к изменению его электрической емкости, которая изменяет и величину энергии электростатического поля. Это изменение в определенных случаях может быть уже достаточно для пробоя окружающей среды и образования искры. Однако поверхностная неоднородность проводника обуславливает и определение физического механизма защиты от электростатических полей. Поэтому сделаем важное отступление.

Прежде всего, докажем, что радиус кривизны заряженной поверхности существенным образом определяет величину напряженности электростатического поля. Будем считать в рассмотренном выше примере, что одна сфера имеет радиус  $r$ , а другая, соединенная с ней с помощью проволоочки, радиус  $R$ . Первоначально заряженная поверхность имеет заряд  $Q$ . В предыдущем примере положим начальный заряд системы  $Q = q_1 + q_2$ , а емкости шариков пропорциональны радиусам, поэтому:

$$q'_1 = \frac{Q}{R+r} R, \quad q'_2 = \frac{Q}{R+r} r.$$

Тогда напряженность поля на поверхности маленького шара, который также называют острием, равна:

$$E = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r(R+r)}$$

и становится очень большой величиной при уменьшении  $r$ . Естественно, что и поверхностная плотность заряда на такой поверхности острия равна

$$\sigma = \frac{q_2}{4\pi r^2} = \frac{Q}{4\pi r(R+r)} \text{ и также существенно растет с уменьшением радиуса } r. \text{ Такое}$$

свойство заостренных проводников используют на практике для съема зарядов в различных устройствах, например, в защите от молний во время грозы. Для предотвращения стекания зарядов у приборов и машин, работающих под высоким напряжением, металлические части делают хорошо закругленными, а концы металлических стержней снабжают гладкими шариками. Также отметим необходимость уделить особое внимание данному явлению на автозаправках. Именно поэтому в случаях подобного рода применяют заземление. Остановимся на последнем несколько подробнее.

Обычно заземлением называется соединение проводника с помощью другого проводника, например провода, с Землей. В электростатике заземление – это соединение проводника конечных размеров с Землей, размеры которой на много порядков больше. Следовательно, и электрическая емкость Земли на много порядков больше емкости реальных тел, с ней соединенных. Несмотря на то, что при таком соединении какой-либо заряд может перейти с шара на Землю или наоборот, потенциал Земли практически не меняется. Этот факт определяется следующим выражением для потенциала Земли:

$$\varphi = \frac{QR}{4\pi\epsilon_0 R(R+r)} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 (R+r)},$$

где  $Q$  – начальный заряд системы «Земля и тело»;  $R$  – радиус Земли;  $r$  – характерный размер тела. Если принять, как обычно, потенциал бесконечно удаленной точки равным нулю, то потенциал Земли и, следовательно, соединенного с ней тела также будет равным нулю. В самом деле, вследствие огромных размеров Земли по сравнению с размерами реальных тел можно считать, что она простирается до бесконечности.

Итак, заземление внешней поверхности сферы приводит к электростатической защите внешнего пространства от поля зарядов, находящихся внутри заземленной проводящей замкнутой поверхности.

Теперь вернемся к вопросу определения дополнительной энергии электростатического поля из-за наличия неоднородности на поверхности. Пусть в процессе изготовления проводящей сферы радиусом  $R$  образовался дефект поверхности в виде полусферического бугорка радиуса  $r \ll R$  (рис. 2). Оценим изменение электрической емкости сферы, обусловленное такой неоднородностью.

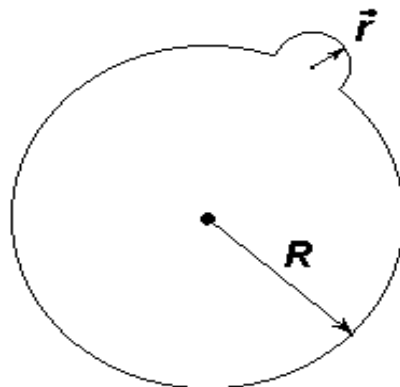


Рис. 2. Дефект на поверхности сферы

Для однородной равномерно заряженной зарядом  $Q_0$  сферической поверхности радиуса  $R$ , потенциал на поверхности определяется известным соотношением (1), а ее электрическая емкость формулой (2).

Заряд неоднородного тела – сферы с бугорком – по-прежнему будем считать равным  $Q_0$ . Представим весь заряд как сумму заряда  $q$  на бугорке и заряда  $Q$  оставшейся части сферы:

$$Q_0 = q + Q. \quad (5)$$

Согласно теореме Гаусса, напряженность электрического поля внутри сферической поверхности равна нулю, поскольку в объеме, ограниченном этой поверхностью, отсутствуют заряды. Тогда и в центре сферы для точки  $O$  напряженность  $E = 0$ , как, впрочем, и для любой другой внутренней точки. Это означает, что потенциал внутренней области постоянен.

Определим потенциал  $\hat{\varphi}$  точки  $O$  как сумму потенциалов  $\varphi$  неоднородности (полусферы радиуса  $r$ ) и потенциала  $\varphi_1$  оставшейся части сферы зарядом  $Q$ .

Определим потенциал  $\varphi$  электростатического поля полусферы (неоднородности) на линии, проходящей через центр полусферы (рис. 3).

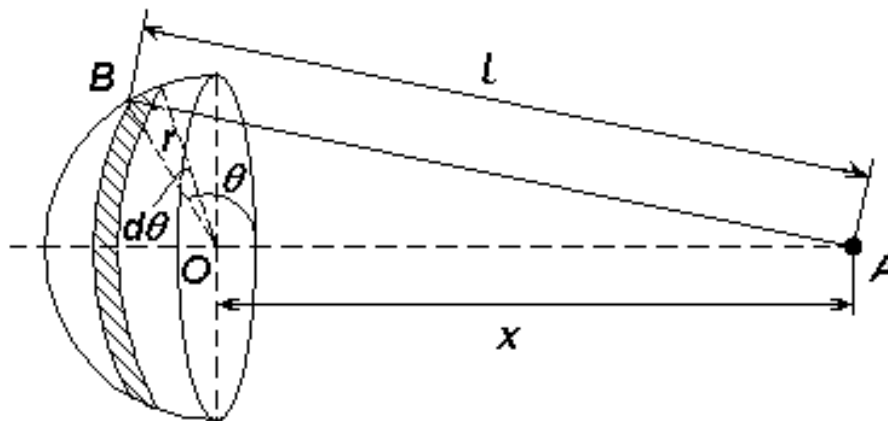


Рис. 3. К определению потенциала электрического поля от заряженной полусферической поверхности в точке  $x$

Для расчета применим принцип суперпозиции, так как полусферу в общем случае нельзя считать точечным зарядом. Разделим полусферу на узкие кольца шириной  $rd\theta$  и радиуса  $r \sin \theta$ . Рассмотрим одно такое кольцо. Его площадь равна:

$$dS = 2\pi r \sin \theta \cdot r d\theta,$$

а заряд:

$$dq = \frac{dS}{2\pi r^2} q = q \sin \theta d\theta.$$

Так как все элементы этого кольца находятся на одинаковом расстоянии  $l$  от точки  $O$ , то элементарный потенциал электростатического поля в точке  $O$  равен:

$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{l} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin\theta d\theta}{l}.$$

Из треугольника  $ABO$  по теореме косинусов:

$$l^2 = r^2 + x^2 - 2rx \cos\theta.$$

Продифференцируем последнее соотношение:

$$2ldl = 2rx \sin\theta d\theta.$$

Тогда найдем следующее соотношение  $\sin\theta d\theta = ldl / rx$ .

Окончательно получаем для элементарного потенциала выражение следующего простого вида:

$$d\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{dl}{rx}.$$

Откуда потенциал полусферы равен:

$$\varphi = \int_{\sqrt{r^2+x^2}}^{x+r} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 rx} dl = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 rx} \left[ (x+r) - \sqrt{r^2+x^2} \right].$$

Воспользовавшись теперь условием малости  $r \ll R$ , для точки  $x = R$  в указанных приближениях получим приближенное выражение для потенциала в центре большой сферы:

$$\varphi \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \left( 1 - \frac{r}{2R} \right). \quad (6)$$

Напряженность поля в центре сферы, как уже было отмечено, равна нулю. Из симметрии задачи ясно (рис. 4), что симметрично расположенным к заряду бугорка  $q$  является заряд  $q'$ , занимающий заштрихованную площадь большой сферической поверхности. Из условия равенства нулю напряженности поля в центре сферы найдем:

$$\frac{q}{R^2} = \frac{q'}{R^2}.$$

Остальные заряды поверхности сферы попарно компенсированы. Последнее равенство следует из того факта, что поле неоднородности зарядом  $q$ , в условиях  $r \ll R$ , эквивалентно поле точечного заряда, находящегося на расстоянии  $R$ . Итак, показано, что  $q = q'$ . Заряд:

$$q' = \sigma dS = \frac{Q}{4\pi R^2} R^2 d\Omega,$$

где  $\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$  – поверхностная плотность заряда на сферической поверхности большого радиуса;  $dS = R^2 d\Omega$  – площадь заштрихованной области;  $d\Omega = \frac{\pi r^2}{R^2}$  – элемент телесного угла.

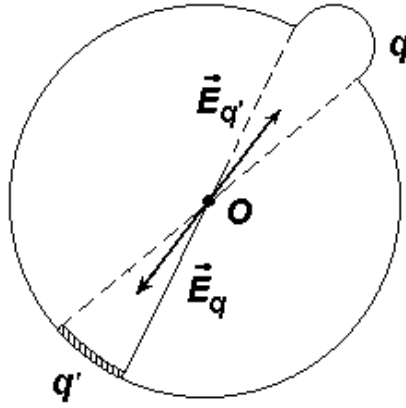


Рис. 4. К расчету напряженности поля в центре сферы

Тогда:

$$q = q' = \frac{Q}{4\pi R^2} R^2 \frac{\pi r^2}{R^2} = \frac{Q r^2}{4 R^2}.$$

Учитывая формулу (5), имеем  $q = \frac{Q_0 \alpha}{1 + \alpha}$ , где параметр  $\alpha = \frac{1}{4} \frac{r^2}{R^2}$ .

Потенциал в центре сферы с неоднородностью, по известному принципу суперпозиции, представим в виде:

$$\hat{\varphi} = \varphi_1 + \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{r}{R}\right).$$

Здесь сумма в правой части есть потенциал сферы без заряда неоднородности (1) и потенциала неоднородности (6). В итоге:

$$\begin{aligned} \hat{\varphi} = \varphi_1 + \varphi &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \left(1 - \frac{r}{R}\right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \right] = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{Q_0 - q}{R} + \frac{q}{R} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \right]. \end{aligned}$$

Окончательно имеем:

$$\hat{\varphi} = \frac{Q_0}{4\pi\epsilon_0 R} \left( 1 - \frac{\alpha}{1 + \alpha} \frac{r}{R} \right).$$

Используя определение емкости, в данном примере имеем следующее выражение:

$$C = \frac{Q_0}{\hat{\varphi}} = \frac{C_0(1 + \alpha)}{\left[ 1 + \alpha \left( 1 - \frac{r}{R} \right) \right]}.$$

Изменение емкости, обусловленное наличием «бугорка» равно:

$$\Delta C = C - C_0 \approx C_0 \frac{1}{4} \frac{r^3}{R^3} \approx \pi\epsilon_0 \frac{r^3}{R^2}.$$

В итоге изменение емкости зависит как от радиуса бугорка (неоднородности), так и от радиуса самой сферической поверхности. Именно это малое изменение может в некоторых условиях привести к дополнительной энергии.

В этой работе на основе модели двух заряженных проводящих сферических поверхностей рассмотрена простая электростатическая модель, которая может быть использована в качестве энергии, выделяющейся при их соединении проводником. Последний моделирует искру, которая может возникнуть при пробое приповерхностного слоя проводника. На основе этой модели и известных законов электростатики продемонстрировано влияние неоднородности поверхности статически заряженного проводника при расчете емкости системы и ее роли для защиты. В статье использованы материалы авторских задач из книги [5].

### Литература

1. Трубилко А.И. Некоторые вопросы безопасности в простых задачах механики // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 2 (18). С. 47–59.
2. Трубилко А.И. Безопасность дорожного движения с точки зрения задач механики // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 3 (23). С. 34–46.
3. Попов Б.Г. Статическое электричество в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. 240 с.
4. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров. М.: ВНИИПО, 2002. 329 с.
5. Скребов В.Н., Трубилко А.И. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011. Т. 2. 303 с.



# **МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ИНТЕНСИВНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

**А.В. Шарков, доктор технических наук, профессор;**

**В.А. Кораблев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.**

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики.**

**Н.С. Тилеубай.**

**Казахский национальный университет им. аль-Фараби.**

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

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Приводится схема конструкций устройства и методика измерения тепловых потоков высокой плотности, проведен анализ источников систематической погрешности измерений.

*Ключевые слова:* теплотер, методика измерения, погрешность измерений, плотность теплового потока

## **HEAT FLUX MEASURING METHODOLOGY AT CONDITIONS OF INTENSIVE HEAT PROCESSES MODELLING**

A.V. Sharkov; V.A. Korablev. Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics.

N.S. Tileubai. Al-Farabi Kazakh national university.

D.A. Minkin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Construction and methodology of high density heat fluxes measurement are described, analysis of the systematic measurement inaccuracy reasons is presented

*Keywords:* heat flux meter, measurement methodology, measurement inaccuracy, density of heat flux

Одним из важных параметров, характеризующих интенсивность пожара и воздействие его факторов на предметы и среды, является плотность тепловых потоков, излучаемых очагом горения (ГОСТ 30402–96. Метод испытаний на воспламеняемость). Задача определения плотности теплового потока актуальна при моделировании процессов горения и оценке воздействия пожаров на ограждающие конструкции, проведении испытаний на огнестойкость, экспериментальных исследованиях противопожарных характеристик оборудования и материалов, оценке воспламеняемости горючих материалов [1] и т.д.

Для измерения интенсивности теплового воздействия применяются измерители тепловых потоков, имеющих различные конструкции и пределы измерения [2, 3]. Среди ряда конструкций приемников тепловой энергии наибольшее распространение получили калориметрические, фотометрические и термоэлектрические приемники энергии [4].

В случае калориметрического приемника тепловой энергии, как показано на рис. 1, теплоноситель (вода) протекает по тонкостенной металлической трубке и подогревается тепловым потоком от источника теплового воздействия  $q$ .

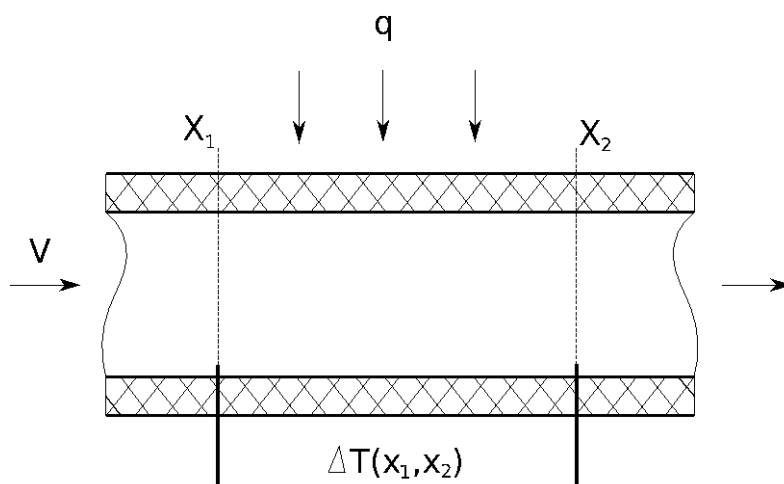


Рис. 1. Проточный калориметр

Возникающее изменение температуры в калориметре во времени вследствие непрерывного течения исследуемой среды необходимо рассматривать как локальное температурное изменение (по пространству). Изменение этой зависимости и составляет измерительный принцип проточных калориметров. При условии постоянства скорости течения разность температур является мерой теплового потока, поглощаемого калориметром.

Термоэлектрические приемники тепловой энергии (тепломеры) генерируют электрический сигнал, пропорциональный разности температур двух поверхностей, из которых одна воспринимает измеряемый тепловой поток, а вторая поддерживается при постоянной температуре (рис. 2). Чувствительные элементы приемников могут быть разных конструкций [5], изготавливаться в виде проволочных или тонкопленочных гальванических элементов.

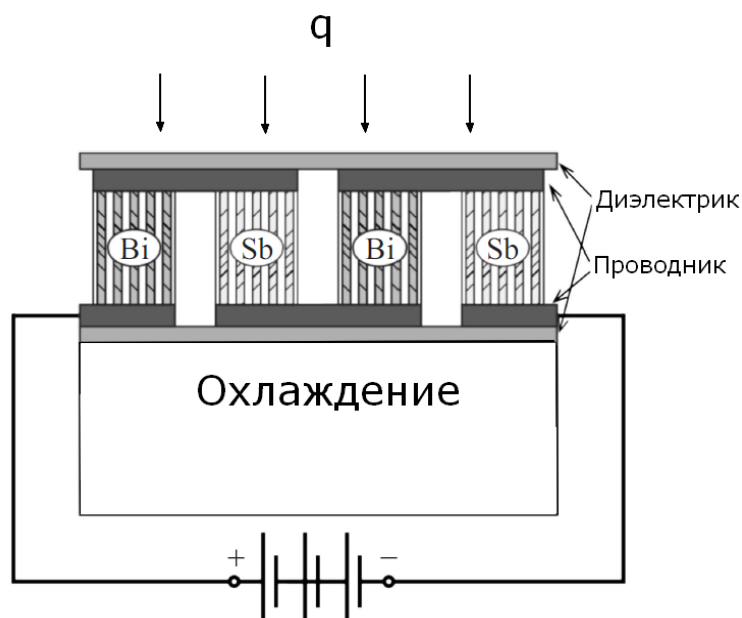


Рис. 2. Термоэлектрический тепломер

Возможно использование анизотропных термоэлектрических кристаллов, непосредственно преобразующих тепловой поток в электрический потенциал.

Для стабилизации температуры тыльной стороны приемника могут использоваться жидкие теплоносители, циркулирующие в системе его термостабилизации. Возможно построение термоэлектрического приемника и без специальной термостабилизации тыльной

стороны. В этом случае два одинаковых приемника соединяются тыльными сторонами, а в схеме измерения с их помощью предусматривается вычитание сигналов их чувствительных элементов.

Для измерения относительного пространственного распределения интенсивности излучения при неизменном его спектральном составе могут применяться фотометрические приемники лучистой энергии. Как правило, для этого используют элементы солнечных батарей, преобразующих падающее на них излучение непосредственно в электрический ток. Эти элементы обладают существенной избирательностью по спектру поглощаемого излучения, а их сигнал зависит от температуры.

Известны возможности использовать в качестве приемников тепловой энергии [6] стержни известных теплофизических параметров, на один конец которых подводится исследуемое воздействие, а через второй торец тепловая энергия удаляется за пределы датчика. Измерив температуры стержня на различных расстояниях от приемного торца, можно решить обратную задачу теплопроводности и вычислить подводимый тепловой поток.

Основным недостатком использования тепломеров в качестве измерительных устройств является то, что на данный момент нет государственной системы их аттестации при плотности измеряемых потоков до  $40 \text{ кВт/м}^2$ .

При моделировании пожаров в различных средах и в широком диапазоне давлений среды большинство датчиков [7] не могут использоваться, так как невозможно обеспечить их водяное охлаждение или сохранность при воздействии агрессивной среды с высокой температурой.

Для измерения плотности тепловых потоков в таких условиях предлагается методика косвенных измерений, основанная на учете скорости разогрева теплоемкого цилиндра и интенсивности его теплообмена с оболочкой.

На рис. 3 представлена конструкция тепломера, состоящего из цилиндрического ядра 1, на торцевую поверхность которого воздействует тепловой поток с плотностью  $q$ , показанный стрелками. Боковая и тыльная поверхности ядра защищены теплоизоляцией 2 и кожухом 3. Температуры в центре ядра  $T_1$  и кожуха  $T_2$  измеряются термоэлектрическими термометрами 4 и 5 соответственно. Ядро 1 выполнено из меди М1, теплофизические свойства которой хорошо известны. Теплоизоляция 2 выполнена из ультралегковесного волокнистого материала на основе кварца. Ее отличительной способностью являются низкие теплопроводность и объемная теплоемкость. Кожух 3 изготовлен из нержавеющей стали, внешняя поверхность которой отполирована.

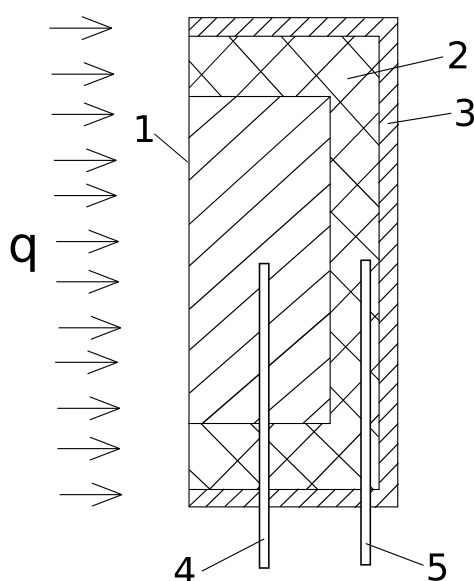


Рис. 3. Тепломер: 1 – цилиндрическое ядро; 2 – теплоизоляция; 3 – стальной кожух; 4, 5 – термоэлектрические термометры

При воздействии теплового потока ядро 1 начинает нагреваться, при этом часть теплоты уходит через изоляцию к кожуху 3. Уравнение теплового баланса для ядра имеет вид:

$$\Phi(\tau) = C_1 \frac{dT_1}{d\tau} - \sigma(T_1 - T_2), \quad (1)$$

где  $\Phi(\tau)$  – тепловой поток, падающий на торец ядра 1, Вт;  $C_1$  – полная теплоемкость ядра 1, Дж/К;  $\tau$  – время, с;  $\sigma$  – тепловая проводимость между ядром 1 и кожухом 3, Вт/К.

Плотность теплового потока  $q(\tau)$ , падающего на торцевую поверхность ядра, рассчитывается по формуле:

$$q(\tau) = \frac{\Phi(\tau)}{A},$$

где  $A$  – площадь торцевой поверхности ядра, м<sup>2</sup>.

Для проведения исследований необходимо определить теплоемкость  $C_1$  ядра и тепловую проводимость  $\sigma$ . Величина  $C_1$  может быть определена путем взвешивания и последующим умножением на значение удельной теплоемкости для меди марки М1.

Величина  $\sigma$  может быть определена путем предварительного нагрева ядра внешним источником излучения, например излучением галогенной лампы, до температуры  $T_1$  примерно 100 °С. Затем торец закрывается толстым слоем теплоизоляции с низкой удельной теплоемкостью и производится запись температур ядра  $T_1$  и кожуха  $T_2$  по показаниям термопар 4 и 5 с помощью автоматического регистратора.

Величина  $\sigma$  рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \frac{C_1 \frac{dT_1}{d\tau}}{T_1 - T_2}.$$

Если выявится существенная температурная зависимость величины  $\sigma$ , то ее значение рассчитывается по зависимости, полученной путем статистической обработки результатов измерений при различных температурах  $T_2$ .

Источниками систематической погрешности результатов измерений является невыполнение следующих допущений, сделанных при составлении выражения (1):

- скорость изменения среднеобъемной температуры ядра существенно отличается от скорости изменения температуры в центре ядра, измеряемой термопарой 4;
- теплоемкость теплоизоляции сопоставима с теплоемкостью ядра и ею нельзя пренебрегать при расчете плотности теплового потока.

Как показали расчеты температурных полей ядра, скорости изменения среднеобъемной и локальной температур практически не отличаются при относительных скоростях изменения теплового потока 2 % в секунду.

Второй источник систематической погрешности устраняется путем использования ультралегковесного волокнистого материала с низкой удельной теплоемкостью, в результате чего теплоемкость изоляции составляет около 1 % от теплоемкости ядра.

Для проведения исследований был изготовлен датчик с ядром диаметром 40 мм и толщиной 10 мм. Толщина теплоизоляции была 8 мм. Путем расчетов и градуировочных опытов были получены значения теплоемкости ядра  $C_1=43,4$  Дж/К, тепловой проводимости  $\sigma=0,03$  Вт/К. В ядре и кожухе установлены термопары типа хромель-алюмель.

При проведении экспериментов температура ядра изменялась от 20 до 140 °С. Измеренные значения плотностей тепловых потоков были от 5 до 40 кВт/м<sup>2</sup>. Испытания

датчика теплового потока, с помощью которого реализована эта методика, показали, что погрешность измерения стационарного потока находится в пределах 5 %, а нестационарного потока с относительной скоростью 10 % в секунду в пределах 8 %.

Разработанная методика может быть использована при проведении исследований и сертификационных испытаний [8], так как все параметры измерительной установки, используемые в эксперименте (теплоемкость ядра, измерители температуры и времени), могут быть проградуированы и поверены в органах Ростеста.

### **Литература**

1. Сечин А.И. Пожаровзрывозащита: учеб. пособие / сост. А.И. Сечин, О.С. Кырмакова. Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2015. 248 с.
2. A radiometer for measuring high-intensity heat flux density and a method of calibrating it / A.V. Sharkov [et al.] // Measurement Techniques. 2012. Vol. 54. № 11.
3. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные измерения. Киев: Наук. Думка, 1965. 304 с.
4. Пилипенко Н.В. Сенсоры нестационарной теплотметрии и их математические модели // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 3. С. 53–56.
5. Горох Г.Г., Лозовенко А.А., Булат Л.П. Термоэлектрическая батарея на основе пучков нанопроводов Bi и Sb в матрицах анодного оксида алюминия // Физика и техника полупроводников. 2017. Т. 51. Вып. 7. С. 887–891.
6. Андрейчук О.Б., Малахов Н.Н. Тепловые испытания космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1982. 143 с.
7. Измерение высокоинтенсивных тепловых потоков / Р.Ш. Еналеев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 15. С. 298–302.
8. Пономарев С.В., Мищенко С.В., Дивин А.Г. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: монография: в 2-х кн. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. Кн. 1. 204 с.



---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

## К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ

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

Рассмотрен анализ контроля качества профессиональной подготовки специалистов в вузах Государственной противопожарной службы. Проведен сравнительный анализ соответствия существующей организации контроля требованиям эффективного управления обучением.

*Ключевые слова:* контроль качества, показатели системы

## THE QUALITY CONTROL SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF SPECIALISTS OF STATE FIRE SERVICE OF EMERCOM OF RUSSIA

I.L. Skrypnyk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In the article the analysis of quality control of training specialists in universities of State fire service. A comparative analysis of compliance of existing monitoring requirements for effective training management.

*Keywords:* quality control, performance of the system

Анализ и обобщение опыта существующей организации контроля качества профессиональной подготовки специалистов (ККППС) по результатам служебной деятельности обучающихся во время стажировок (на третьем курсе в должности начальника караула, на четвертом курсе в должности инспектора государственного пожарного надзора при обучении в вузе в подразделениях Государственной противопожарной службы (ГПС) выполнен по трем направлениям:

- обоснование состава показателей ККППС;
- выявление действующих информационных каналов ККППС;
- степени достоверности и результативности оценок ККППС по результатам контроля.

Для достижения целей исследования был проведен сравнительный анализ состава показателей ККППС, представленных в работе [1]:

- в отчетах по стажировкам (итоги проведенных защит);
- квалификационной характеристике офицера при назначении на должность;

– отзыве на выпускника вуза ГПС по результатам служебной деятельности в подразделениях ГПС (как правило, через год службы).

Результаты анализа данных документов позволяют заключить, что ККППС по результатам служебной деятельности производится лишь по незначительной части показателей.

При этом состав оцениваемых показателей не в полной мере отражает поставленных целей подготовки и, следовательно, не способствует достоверной оценке результатов функционирования педагогической системы вуза ГПС.

Существующая структура ККППС представлена в виде информационного графа на рисунке.

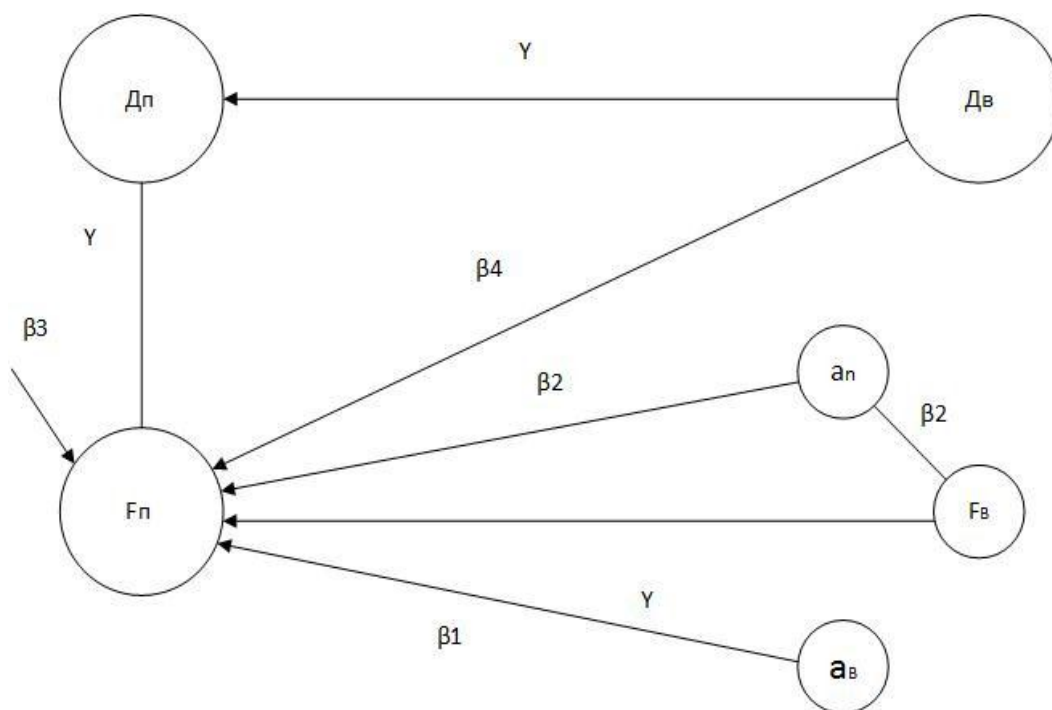


Рис. Информационный граф существующей организационной структуры ККППС:

$Д_n$  – органы управления сферой подготовки специалистов (ДКП, ГУ ГПС);  $Д_в$  – органы управления сферой использования выпускников;  $F_n$  – сфера подготовки специалистов (вуз ГПС);  $F_в$  – сфера использования специалистов (подразделение ГПС);  $a_в$  – выпускник;  $a_n$  – представитель вуза ГПС;  $\gamma$  – связи, регламентированные руководящими документами;  $\beta_1$  – анкета самооценки выпускника;  $\beta_2$  – материалы по изучению ККППС представителями вуза ГПС;  $\beta_3$  – материалы из средств массовой информации;  $\beta_4$  – информация из приказов, актов и т.п.

Из анализа представленной структуры видно, что на практике используются разные информационные каналы: регламентированные руководящие документы; периодически организуемое анкетирование выпускников; итоги проведенных стажировок обучающихся; посещение представителями вузов ГПС пожарных частей с целью изучения ККППС; средства массовой информации; приказы, акты проверок и прочее; сведения по линии кадровых органов [2].

Однако дополнительные каналы получения данных о ККППС из подразделений ГПС, не регламентированные руководящими документами, не систематичны и требуют совершенствования.

Обобщение опыта вузов ГПС показывает, что существующая организация ККППС не вполне способствует достижению цели контроля – определению соответствия ККППС потребностям подразделений ГПС, выявлению причин соответствия (несоответствия) и обеспечению всех уровней управления подготовкой офицерских кадров необходимой информацией.

Определение функций и задач ККППС в вузе ГПС, анализ и обобщение опыта его организации в отечественной и зарубежной высшей школе позволили осуществить постановку задачи по совершенствованию ее организации.

Назначение и главная цель функционирования педагогической системы (целевая функция) состоит в объективной оценке степени соответствия (несоответствия) уровня профессиональной подготовки специалистов установленным требованиям, а также состояния факторов учебно-воспитательного процесса, воздействием на которые можно обеспечить дальнейшее улучшение ККППС [3].

Основные показатели системы можно разделить на три группы:

1. Показатели, отражающие результативность функционирования педагогической системы, и, прежде всего, показатели, связанные с реализацией целевой функции этой системы, то есть показатели назначения системы;
2. Показатели, определяющие производительность системы;
3. Показатели, отражающие трудоемкость и стоимость создания, эксплуатации и развития системы.

Для постановки задачи совершенствования ККППС проведен сравнительный анализ соответствия существующей организации контроля требованиям эффективного управления обучением.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице.

**Таблица. Сравнительный анализ соответствия существующей организации контроля требованиям эффективного управления качеством первоначальной профессиональной подготовки специалистов**

Требования к подготовке специалистов	Недостатки существующей организации контроля
<b>а) Оценка качества профессиональной подготовки специалистов</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– рациональный отбор учебного материала, подлежащего контролю;</li> <li>– оптимальная периодичность контроля и количества контролируемых обучающихся;</li> <li>– объективность и достоверность оценки;</li> <li>– интеграция контроля по видам деятельности и этапам подготовки;</li> <li>– соответствие показателей качества подготовки целям обучения;</li> <li>– оценка ККППС несколькими категориями специалистов;</li> <li>– достижение целей профессиональной подготовки специалистов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– не везде присутствуют четкие рекомендации по объему, периодичности, формам и методам контроля;</li> <li>– слабая интеграция контроля между различными учебными дисциплинами, модулями обучения;</li> <li>– не в полной мере регламентирован контроль по видам деятельности и этапам подготовки;</li> <li>– состав показателей ККППС по результатам стажировки в подразделениях ГПС не всегда соответствует квалификационным требованиям (характеристикам)</li> </ul>
<b>б) Сбор и обработка оценочной информации</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспечение информацией всех уровней управления;</li> <li>– агрегирование информации по уровням управления;</li> <li>– использование вычислительной техники и новых информационных технологий при обработке информации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– не регламентированы необходимые каналы обеспечения информацией всех уровней управления ККППС;</li> <li>– не определен четкий порядок агрегирования информации;</li> <li>– недостаточное использование современного компьютерного оборудования с прогрессивным программным обеспечением</li> </ul>



в) Сравнение оценки с требуемыми результатами	
– наличие четко определенных критериев ККППС, механизма сравнения и аппарата контроля	– не всегда определены критерии оценки ККППС; – методики сравнения оценки ККППС с требуемыми результатами вызывают необходимость современного уточнения на основе новых нормативных и руководящих документов; – не для всех уровней управления определен состав аппарата контроля
г) Определение основных причин несоответствия ККППС требованиям системы ГПС	
– определение основных факторов, влияющих на ККППС; – оценка степени влияния данных факторов	– не учитываются все факторы, входящие в модели состояния учебно-воспитательного процесса

Данные результаты позволяют сформулировать следующие направления совершенствования ККППС:

1. Оптимизация отбора учебного материала, подлежащего контролю периодичности и объективности оценки ККППС.
2. Интеграция контроля учебных дисциплин по видам и этапам подготовки.
3. Обеспечение полноты и достоверности информации о результатах практической деятельности обучающихся по итогам стажировок, определяемых рациональным составом показателей ККППС и эффективными методами и средствами измерения и анализа их оценок.
4. Агрегирование оценочной информации по уровням управления качеством подготовки специалистов.
5. Максимальное использование существующих элементов контроля ККППС.
6. Определение факторов учебно-воспитательного процесса, влияющих на ККППС, и оценка степени данного влияния.
7. Широкое внедрение компьютерных технологий и новых информационных технологий для хранения, обработки, анализа и передачи информации о ККППС и состоянии факторов процесса обучения [4].

Выполнение указанных требований будет способствовать достижению цели ККППС – объективной и достоверной ее оценке.

Отсюда можно сформулировать основные первоочередные задачи профессиональной подготовки обучающихся.

Первая – повышение уровня подготовки за счет совершенствования технологий обучения, применяемых сегодня в вузе, широкого внедрения в учебный процесс информационных и телекоммуникационных средств, то есть создание в нем специальной профессионально-ориентированной обучающей среды, способствующей возникновению и развитию информационного взаимодействия между обучающимися и преподавателями на основе использования современных технологий (например интерактивного обучения) и технических средств обучения (использование мультимедийный проекторов и т.д.) [5].

Вторая – овладение обучающихся вузов комплексом знаний, навыков и умений, выработка качеств личности, обеспечивающих успешное выполнение задач профессиональной деятельности.

Анализ качества подготовки специалистов ГПС показал, что одним из оптимальных способов повышения качества обучения в вузе выступают инновационные компьютерные технологии, в том числе автоматизированные обучающие системы (АОС).

Они обеспечивают:

- совершенствование системы подготовки в целях обеспечения необходимой квалификации и компетентности (общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные);
- возможность интерпретации, формализации, удобства, доступности, простоты представления знаний, индивидуализацию обучения и оптимизацию процесса обучения;
- организацию учебного материала в виде обучающих и контролирующих систем;
- предоставление обучающимся возможности эффективной самоподготовки;
- повышение мотивации к обучению, в том числе к самостоятельной работе, за счет применения новой обучающей среды;
- переход изучения части учебного материала в системе дистанционного обучения.

Пути повышения качества профессиональной подготовки обучающихся в вузах ГПС МЧС России являются следующие:

- оптимизация учебной, психологической и физической нагрузки обучающихся вузов ГПС МЧС России;
- использование личностного и деятельно-ориентированного подхода в период профессиональной подготовки обучающихся;
- применение АОО профессиональной подготовки обучающихся, алгоритма ее функционирования и проведения контроля.
- создание дидактического комплекса информационного обеспечения профессиональной подготовки обучающихся на основе АОО;
- разработки методики контроля качества знаний обучающихся в АОО [4].

Анализ системы ККППС в вузах ГПС МЧС России позволил сформировать следующие выводы [6]:

1. Уровень профессиональной подготовки выпускников не в полной мере соответствует их требованиям, компетенциям и квалификационной характеристике, особенно по пожарно-тактическим и пожарно-техническим дисциплинам.

2. Поэтапное рассмотрение процесса профессиональной подготовки обучающихся позволило заключить, что для достижения заданного качества и поддержания его на требуемом уровне необходимо осуществлять эффективное педагогическое управление всеми элементами системы профессиональной подготовки.

3. Анализ качества профессиональной подготовки позволил определить цели и задачи контроля и на их основе сформулировать целевую функцию – максимизацию оценки степени соответствия подготовки обучающихся требованиям ГПС, что возможно только при сочетании внутривузовского и внешнего контроля (по результатам стажировки в базовых подразделениях ГПС МЧС России).

4. Обобщение опыта отечественной и зарубежной высшей школы позволило выявить следующие перспективные направления совершенствования профессиональной подготовки обучающихся в вузах ГПС МЧС России:

- оптимизация учебной, психологической и физической нагрузки обучающихся в период профессиональной подготовки;
- создание методического обеспечения профессиональной подготовки обучающихся, с использованием АОО и методики контроля их качества знаний;
- применение личностного и деятельно-ориентированного подходов в период профессиональной подготовки обучающихся;
- использование инновационных технологий с современными техническими средствами обучения;
- постоянного поиска и внедрения достижений научно-технического прогресса.

Одним из оптимальных способов повышения качества обучения в вузах выступают инновационные компьютерные технологии, в том числе АОО.

5. Сравнительный анализ требований эффективного управления существующей организацией контроля позволил сделать вывод о необходимости постоянного совершенствования системы контроля.

6. Выполненное обобщение результатов сравнительного анализа требований эффективного педагогического управления и существующей организации контроля, результатов анализа требований руководящих и нормативных документов по подготовке специалистов ГПС, опыта отечественной и зарубежной высшей школы позволило сформулировать задачу совершенствования профессиональной подготовки – максимизацию степени совпадения желаемого результата обучения с фактическим, определение требований к совершенствованию организации контроля и состояния элементов профессиональной подготовки в вузах ГПС МЧС России.

### **Литература**

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Взаимодействие профессорско-преподавательского состава кафедры с выпускниками // Система обеспечения пожарной безопасности. Состояние, тенденции, пути развития: сб. статей и докладов науч.-практ. конф. СПб.: Военный ин-т (инж.-техн.), 2017. С. 222–227.

2. Кузьмина Т.А., Кузьмин А.А. Структура информационного обеспечения практических занятий в вузах МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 1 (25). С. 41–47.

3. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Савенкова А.Е. Основные направления по совершенствованию подготовки специалистов ГПС МЧС России // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2017. № 3 (36). С. 56–60.

4. Медведева Л.В., Макаrchук Г.В. Теоретико-методологические основания организации мониторинга знаний обучающихся в техническом военном (военизированном) вузе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 2 (22). С. 50–57.

5. Каверзнева Т.Т., Леонова Н.А. Обеспечение преемственности лабораторных практикумов в инженерной подготовке выпускника высшей школы по направлению «Техносферная безопасность» // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 12. С. 52–55.

6. Медведева Л.В., Пермяков А.А. Теоретико-методологические аспекты и проблемы профессионализации инженерных кадров в техническом вузе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 1 (25). С. 47–55.

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ВУЗЕ МЧС РОССИИ**

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

Рассмотрены проблемы дистанционного обучения при подготовке специалистов в области пожарной безопасности, проанализирован фонд оценочных средств. Обосновываются критерии формирования тестовых заданий и фонд оценочных средств, обеспечивающих качественную подготовку специалистов. Проведен анализ организации и контроля профессиональной подготовки обучающихся.

*Ключевые слова:* дистанционное обучение, качественная подготовка, пожарная безопасность, фонд оценочных средств, тесты, образовательный процесс, автоматизированная обучающая система, группа, задача, информация, направление

# ACTUAL PROBLEMS OF DISTANCE EDUCATION OF SPECIALISTS IN FIRE SAFETY AT THE UNIVERSITY OF EMERCOM OF RUSSIA

S.V. Voronin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The problems of distance learning in the training of specialists in the field of fire safety are considered, the Fund of evaluation tools is analyzed. The criteria for the formation of test tasks and the Fund of evaluation tools that provide quality training. The analysis of the organization and control of professional training of students.

**Keywords:** distance learning, quality training, fire safety, fund of evaluation tools, tests, educational process, automated training system, group, task, information, direction

Дистанционная форма обучения обладает рядом достоинств по сравнению с традиционной общепринятой, но реализация этих преимуществ требует определенных усилий [1].

Обучение происходит без отрыва от основного места работы, позволяет получить образование контингенту из самых удаленных уголков нашей страны и подстроиться под свой временной график. Для слушателей, получающих второе высшее образование, имеется возможность наверстать пропущенный из-за служебных командировок материал, работать по индивидуальному плану [2].

Дистанционное обучение подразумевает широкое использование современных технологий, многократное, интерактивное возвращение к ранее пройденному материалу, если в процессе обучения у слушателя остались не до конца изученные и понятые темы.

Участие в семинарах и обсуждениях расширяет кругозор слушателей курса и развивает коммуникативные способности [3]. Имеется возможность связаться с преподавателем и получить ответы на интересующие вопросы.

Качественное обеспечение дистанционного обучения требует разработки соответствующего учебно-методического комплекса (УМК), включающего [4, 5]: тематические планы, программы учебных дисциплин, видеолекции, учебники, учебные пособия, методические рекомендации по написанию курсовых и контрольных работ, типовые примеры решения задач, чтобы обучающиеся смогли качественно выполнить свой вариант задания. Методические рекомендации должны конкретизировать знания, умения, навыки и опыт обучающихся, изучить материал новой дисциплины.

Фонд оценочных средств должен включать:

- перечень оценочных средств;
- критерии оценивания и показатели текущего контроля;
- методику проведения зачета (экзамена) по учебной дисциплине;
- список литературы;
- тесты для самоконтроля по темам и проведения зачета (экзамена).

Для оценки эффективности обучения важно выбрать критерии оценок знаний. Электронный журнал позволяет контролировать текущую успеваемость обучающихся.

Целью изучения дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов» является формирование знаний, навыков и умений для проведения пожарно-технической экспертизы в области пожарной безопасности технологических процессов на действующих производствах на основе компетенций, изложенных в федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС) и учебном плане.

Цель реализуется образовательными задачами [6, 7], которыми являются:

- изучение теоретического лекционного материала;
- обучение работы с учебной, справочной литературой, нормативной, руководящей документацией;

– понимание междисциплинарных связей курсов физики, химии, пожарной безопасности электроустановок, теории горения и взрыва, экологии, пожарной автоматики, пожарной тактики, пожарной безопасности в строительстве, физико-химических основ развития и тушения пожаров;

– решению практических задач профессионального уровня и анализа типичных производственных ситуаций.

В упрощенной процедуре оценивания может быть использована следующая схема самоконтроля по темам:

– оценка «2»: правильное выполнение менее 50 % тестовых заданий (ТЗ);

– оценка «3»: правильное выполнение до 65 % ТЗ;

– оценка «4»: правильное выполнение до 75 % ТЗ;

– оценка «5»: правильное выполнение более или равно 90 % ТЗ.

Оценивать контрольные работы можно по схеме:

– не зачтено: контрольная работа выполнена с грубыми ошибками, не по своей теме или не по своему варианту;

– зачтено: контрольная работа соответствует требованиям методических рекомендаций.

Освоение дисциплины оценивается на каждом этапе формирования компетенций. Для шестилетнего образования предусмотрены следующие формы отчетности:

– для 5 курса выносятся контрольная работа (зачтено – не зачтено) и зачет;

– для 6 курса – курсовой проект (работа) и экзамен, которые учитываются в накопительной системе банка данных (компьютерной программе) по четырехбалльной шкале (2, 3, 4, 5).

Методика проведения зачета и экзамена включает в себя этапы подготовки к нему и его непосредственное проведение.

По темам разрабатывается перечень тестовых заданий для:

– 5 курса по 5 вопросов на каждую из 20 тем;

– 6 курса по 25 вопросов на каждую из 4 тем.

Темы должны отвечать ФГОС по соответствующему направлению подготовки учебной дисциплины.

Тест формируется в последовательности изучения дисциплины, ТЗ выбираются случайным образом из компьютерного банка данных.

Тесты формируются по определенным критериям:

– уровень сложности тестов должен быть по возможности одинаков;

– в них не должно быть наводящих вопросов, предполагающих непосредственный ответ;

– их формулировка должна быть логической, четкой, краткой, доходчивой и конкретной;

– тесты согласуются с основными компетенциями ФГОС (ОК, ПК, ПСК);

– тесты должны быть ориентированы на вскрытие противоречий, сравнение, сопоставление, установление причинно-следственных связей и характерных черт, систематизацию, анализ, верификацию, корректную формулировку;

– в них могут быть сформулированы вопросы с применением рисунков, текстов, аналитических соотношений, графиков, номограмм;

– каждый вопрос теста должен иметь один ответ;

– технология проведения тестирования должна иметь компьютерную реализацию с выводом для обучающихся его результатов.

При проведении зачета и экзамена обучающийся отвечает на 30 тестов, выбранных случайным образом компьютерной программой (из 100 вопросов, по 5 вопросов в 20 темах для зачета и по 25 вопросов в четырех темах для экзамена), которая также оценивает полученные ответы по определенным критериям. За правильный ответ каждого задания ставится один балл, за неправильный – ноль баллов. Общая сумма баллов за все правильные ответы – 30 баллов. Для отличной оценки необходимо набрать от 28 до 30 баллов (больше 93,3 %), для хорошей оценки –

от 24 до 27 баллов (больше 80 %), для удовлетворительной – от 20 до 23 баллов (больше 66,6 %), а неудовлетворительной считается оценка менее 20 баллов (меньше 63,3 %).

При сдаче зачета обучающиеся должны получить положительную оценку (3, 4, 5). При сдаче экзамена численные значения ответов на вопросы и их процентное содержание рассмотрены выше. При сдаче зачета и экзамена программа сама выдает окончательный результат.

Таким образом, УМК профилактической дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов» в системе дистанционного обучения, направленный на приобретение необходимых знаний по выбранному направлению подготовки (специальности), требует постоянного мониторинга за состоянием нормативно-правовой документации, корректировки методических материалов, учитывающих научно-технический прогресс.

С появлением передовых высокотехнологических производств необходимо адаптировать обучающихся к новым технологическим процессам, а также к действиям в чрезвычайных ситуациях (обнаружение и предотвращение, ликвидация пожаровзрывоопасных ситуаций). При этом главная цель функционирования педагогической системы (целевая функция) и ее назначение состоит в объективной оценке степени соответствия (несоответствия) уровня профессиональной подготовки специалистов установленным требованиям.

Основные показатели системы можно разделить на три группы:

- 1) Показатели, отражающие результативность функционирования педагогической системы, и, прежде всего, показатели, связанные с реализацией целевой функции этой системы, то есть показатели назначения системы;
- 2) Показатели, определяющие производительность системы;
- 3) Показатели, отражающие трудоемкость и стоимость создания, эксплуатации и развития системы.

Сравнительный анализ соответствия существующей организации контроля требованиям эффективного управления обучением позволил сформулировать следующие направления совершенствования контроля качества профессиональной подготовки специалистов (ККПП) [8]:

1. Оптимизация отбора учебного материала, подлежащего контролю периодичности и объективности оценки.
2. Интеграция контроля учебных дисциплин по видам и этапам подготовки.
3. Обеспечение полноты и достоверности информации о результатах практической деятельности обучающихся по итогам стажировок, определяемых рациональным составом показателей, эффективными методами, средствами измерения и анализа их оценок.
4. Агрегирование оценочной информации по уровням управления качеством подготовки специалистов.
5. Максимальное использование существующих элементов контроля.
6. Определение факторов учебно-воспитательного процесса, влияющих на ККПП и оценка степени данного влияния.
7. Широкое внедрение технических средств обучения, автоматизированные обучающие системы (АОС), компьютерных технологий и новых информационных способов для хранения, обработки, анализа и передачи информации о ККПП и состоянии факторов процесса обучения.

Выполнение указанных требований будет способствовать достижению цели ККПП – объективной и достоверной ее оценке.

Отсюда можно сформулировать основные первоочередные задачи профессиональной подготовки обучающихся:

- 1) первая – увеличение качества путем модернизации способов обучения, активное применение информационных технологий;
- 2) вторая – овладение обучающихся вузов комплексом знаний.

Анализ качества подготовки специалистов Государственной противопожарной службы (ГПС) показал, что одним из оптимальных способов повышения эффективности обучения в вузе выступают инновационные компьютерные технологии, в том числе АОС.

Они обеспечивают:

- совершенствование системы подготовки в целях обеспечения необходимой квалификации и компетентности (общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные);

- возможность интерпретации, формализации, удобства, доступности, простоты представления знаний, индивидуализацию обучения и оптимизацию процесса обучения;

- организацию учебного материала в виде обучающих и контролирующих систем.

Пути повышения качества профессиональной подготовки обучающихся в вузах ГПС МЧС России являются следующие:

- оптимизация учебной, психологической и физической нагрузки обучающихся вузов;

- использование личностного и деятельно-ориентированного подхода в период профессиональной подготовки обучающихся;

- применение АОС профессиональной подготовки обучающихся, алгоритм ее функционирования и проведения контроля.

- создание дидактического комплекса информационного обеспечения профессиональной подготовки обучающихся на основе АОС;

- разработка методики контроля качества знаний обучающихся в АОС.

Анализ системы ККПП в вузах ГПС МЧС России позволил сформировать следующие выводы:

1. Уровень профессиональной подготовки выпускников не в полной мере соответствует их требованиям, компетенциям и квалификационной характеристике, особенно по пожарно-тактическим и пожарно-техническим дисциплинам.

2. Поэтапное рассмотрение процесса профессиональной подготовки обучающихся позволило заключить что, для достижения заданного качества и поддержания его на требуемом уровне необходимо осуществлять эффективное педагогическое управление всеми элементами системы профессиональной подготовки.

3. Анализ качества профессиональной подготовки позволил определить цели и задачи контроля и на их основе сформулировать целевую функцию – максимизацию оценки степени соответствия подготовки обучающихся требованиям ГПС, что возможно только при сочетании внутривузовского и внешнего контроля (по результатам стажировки в базовых подразделениях ГПС МЧС России).

4. Сравнительный анализ требований эффективного управления существующей организацией контроля позволил сделать вывод о необходимости постоянного совершенствования системы контроля.

5. Выполненное обобщение результатов сравнительного анализа требований эффективного педагогического управления и существующей организации контроля, результатов анализа требований руководящих и нормативных документов по подготовке специалистов ГПС, опыта отечественной и зарубежной высшей школы позволило сформулировать задачу совершенствования профессиональной подготовки – максимизация степени совпадения желаемого результата обучения с фактическим, определение требований к совершенствованию организации контроля и состояния элементов профессиональной подготовки в вузах ГПС МЧС России.

## **Литература**

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные альтернативные подходы обучения в сравнении с традиционными // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2017. № 4 (37). С. 46–50.

2. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Комплексный подход к совершенствованию процесса обучения профессионально-специальной дисциплины в вузе МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 1 (21). С. 58–68.
3. Опыт проведения практических занятий в интерактивной форме по направлению «Техносферная безопасность» / Т.Т. Каверзнева [и др.] // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Т. 1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 4 (5-1). С. 359–364.
4. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Савенкова А.Е. Основные направления по совершенствованию подготовки специалистов ГПС МЧС России // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2017. № 3 (36). С. 56–60.
5. Каверзнева Т.Т., Леонова Н.А. Обеспечение преемственности лабораторных практикумов в инженерной подготовке выпускника высшей школы по направлению «Техносферная безопасность» // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 12. С. 52–55.
6. Леонова Н.А., Каверзнева Т.Т., Ульянов А.И. Междисциплинарная связь курсов физики, безопасности жизнедеятельности и техносферной безопасности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. 2014. Вып. 3 (203). С. 160–165.
7. Техносферная безопасность в примерах и задачах по физике: учеб. пособие / Т.Т. Каверзнева [и др.]. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2014. Ч. 1. 56 с.
8. Кадочникова Е.Н., Воронин С.В., Скрипник И.Л. Повышение качества обучения с использованием автоматизированной обучающей системы // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 478–481.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПАСАТЕЛЬНЫХ ТЕНТОВ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ЗДАНИЯХ МАЛОЙ ВЫСОТНОСТИ**

**Т.Т. Каверзнева, кандидат технических наук, доцент.**

**Высшая школа техносферной безопасности Санкт-Петербургского  
политехнического университета Петра Великого.**

**С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент;**

**И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается вопрос о соблюдении требований пожарной безопасности в зданиях с массовым пребыванием людей, целесообразности использования спасательных тентов при организации эвакуации людей на пожарах и чрезвычайных ситуациях в зданиях малой высотности. Предлагается использовать экспериментальный подход к определению упругих свойств тента через статический прогиб под действием веса человека. Приводятся аналитические выражения скорости падения человека, прогиба мембраны от высоты и предельной высоты падения тела человека.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, эвакуация, спасательные тенты, мембрана, здания малой высотности, упругие свойства, вес, выражение, прогиб, падение, человек, обучение



# THE USE OF LIFE-AWNINGS TO EVACUATE PEOPLE IN EMERGENCY SITUATIONS IN BUILDINGS LOW-RISE

T.T. Kaverzneva.

Higher school of technosphere safety of Saint-Petersburg technical university Peter the Great.

S.V. Voronin; I.L. Skrypnyk.

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

The issue of compliance with fire safety requirements in buildings with mass stay of people, the feasibility of using life-saving tents in the organization of evacuation of people in fires and emergencies in low-rise buildings. It is proposed to use an experimental approach to determining the elastic properties of the awning through static deflection under the influence of human weight. The article provides analytical expressions of the velocity of the fall of man, the deflection of the membrane from the height and maximum drop height of the human body.

*Keywords:* fire safety, evacuation, rescue tents, membrane, low-rise buildings, elastic properties, weight, expression, deflection, fall, man, training

Основным направлением в организации пожарной безопасности в зданиях с массовым пребыванием людей (административные, жилые, образовательные учреждения) является противопожарная профилактика, которая включает в себя: планирование мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, проведение рейдов по проверке противопожарного состояния помещений и территории, разработку локальных актов, пропаганду пожарной безопасности и т.п. Также необходимо уделять повышенное внимание пожарному состоянию этих зданий, исходя из следующего [1]:

- с течением времени они ветшают, и, несмотря на проводимый периодический контроль состояния электропроводки с обязательным измерением электрического сопротивления изоляции проводов, могут появиться факторы, косвенно способные увеличить риски возникновения пожаров;

- несмотря на организованный контроль, очаг возгорания может возникнуть даже по таким маловероятным причинам, как удар молнии и многих других;

- в наше время при расследовании пожаров версия поджога также имеет право на существование;

- проявление пожароопасных явлений: короткое замыкание, перегрузка, большое переходное сопротивление, искрение, электрическая дуга;

- проявление так называемого человеческого фактора оказывается почти всегда главной причиной, если не возникновения самого очага возгорания, то таких вопиющих нарушений правил безопасности, как перекрытие доступа к эвакуационным выходам, отсутствие огнетушителя в комнате и другие причины, когда человек или не выполнил своих должностных обязанностей, или исполнял их ненадлежащим образом.

Таким образом всегда имеем дело с несколькими причинами, которые необходимо держать во внимании, нужно в первую очередь предотвращать пожарные ситуации, не допускать возникновения очага возгорания, хотя, конечно, имеются типичные причины возникновения пожаров.

Существуют подходы, основанные на стохастической природе параметров, которые определяют процесс развития и формирования основных факторов пожара, а безопасность определяют заданной доверительной вероятностью наступления (или не наступления) неблагоприятного события. Выполнить все требования абсолютной пожарной безопасности невозможно, но можно обеспечить нужное расчетное время эвакуации. Можно контролировать и управлять параметрами, определяющими, главным образом, процесс возникновения пожарной ситуации. Поэтому были введены понятия индивидуального и социального пожарного рисков [2].

Несмотря на наличие самих схем эвакуации, которые имеются на этажах зданий, последние расследования крупных пожаров (например торгово-развлекательный комплекс в г. Кемерово) показали, что в действительности некоторые аварийные выходы оказываются закрытыми на замок или загромождены, на путях эвакуации присутствуют посторонние предметы, не выполняются требования по освещению, степени огнестойкости, нарушается периодичность проверки огнезащитных покрытий, то есть эксплуатируются основные входы и выходы, а менее востребованные закрываются; тем самым пропускная способность их сокращается. Таким образом, решение этой задачи лежит в чисто организационной области: мало иметь сами эвакуационные выходы, нужно обеспечить к ним быстрый доступ и гарантированную открытость. Поскольку при плановых проверках этих нарушений, как правило, не наблюдается, то для решения этой проблемы необходимо перейти от периодических проверок к мониторингу состояния открытости эвакуационных выходов.

В результате пожара возникают его опасные факторы: повышенная температура, задымленность, излучение, токсичные продукты горения, которые дополнительно вызывают у людей, находящихся в здании, панику, неопределенность в выборе дальнейших действий и принятие наиболее правильных в такой ситуации решений. Поэтому одним из путей выхода из такого положения является их эвакуация через оконные проемы.

Эвакуацию людей при пожарах в зданиях малой высотности при отсутствии других специальных средств можно организовать, развернув под предполагаемым местом приземления падающего человека спасательный тент. Ведь не всегда пожарная машина может быстро подъехать к горящему зданию, а пожар в некоторых условиях может распространяться стремительно, когда для спасения людей нужно действовать незамедлительно.

Преимуществом использования тента в качестве средства спасения является то, что на подготовительную операцию не надо много времени, нужно просто иметь его в наличии и обученных людей [3–5].

Из новостных хроник известны случаи спасения пострадавших в результате пожара, которые оказывались отрезанными огнем от эвакуационных выходов, и выпрыгивающих (падающих вниз) из окон зданий на натянутый брезент или одеяла. Конечно, речь идет о зданиях небольшой этажности. Малый вес падающего и небольшая высота падения дает большие шансы на благополучное приземление при таком способе спасения, как и использование самих спасательных тентов, материал которых обладает определенными упругими свойствами. Статистика тяжелого травматизма при падении с высоты работников строительной отрасли подтверждает необходимость дальнейшего совершенствования всех имеющихся средств спасения [6, 7]. При использовании спасательных тентов предполагается, что его удерживают 16 человек, равномерно распределенных по окружности (форма тента круглая) и натягивающих материал силой своих рук [8, 9]. Условие приземление в центр тента является предпочтительным.

С течением времени происходит старение материала тента и встает вопрос о подтверждении его упругих свойств, обеспечивающих возможность дальнейшей эксплуатации. Предлагается использовать экспериментальный подход к определению упругих свойств тента через статический прогиб под действием веса человека.

При математическом описании натянутый тент рассматривается в качестве мембраны [10].

Если весом тента пренебречь, человека считать материальной точкой, а жесткость мембраны постоянной, то дифференциальное уравнение движения тела на мембране можно записать следующим образом:

$$m\ddot{x} = -cx, \quad (1)$$

где  $c$  – жесткость мембраны, н/м;  $x$  – координата движения, м;  $m$  – масса тела человека, кг.

Уравнение (1) в форме гармонических колебаний имеет вид:

$$\ddot{x} + k^2 x = 0, \quad (2)$$

где  $k^2 = \frac{c}{m}$  – частота колебаний, при этом величина жесткости неизвестна.

Предлагается определять жесткость мембраны экспериментально, измеряя статический прогиб мембраны под действием веса человека. Обозначим:  $\Delta$  – экспериментально измеренный статический прогиб, м.

Тогда:

$$c\Delta = mg \text{ или } \Delta = \frac{mg}{c},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,8 \text{ м/с}^2$ .

Решение однородного дифференциального уравнения (2) записывается в форме:

$$x(t) = A \sin(kt + \alpha) = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt. \quad (3)$$

Начальные условия для определения постоянных интегрирования  $C_1$  и  $C_2$ , а именно при  $t=0$ :  $x(0) = -\Delta$  и  $\dot{x}(0) = v$ .

Тогда:

$$C_1 = -\Delta \text{ и } C_2 = \frac{v}{k},$$

где  $v$  – скорость падения человека на мембрану и выражение (3) записывается следующим образом:

$$x(t) = -\Delta \cos kt + \frac{v}{k} \sin kt.$$

Максимальное перемещение тела на мембране определяется как:

$$A = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + \left(\frac{v}{k}\right)^2} = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + \frac{v^2 \Delta}{g}}.$$

Для определения  $A$  необходимо знать скорость падения тела.

Силу сопротивления воздуха можно определить из [11]:

$$R = C_x \frac{\rho v^2}{2} S,$$

где  $\frac{\rho v^2}{2}$  – скоростной напор потока;  $S$  – площадь поперечного сечения падающего тела;  $C_x$  – коэффициент сопротивления воздуха.

Обозначим  $\gamma = C_x \frac{\rho}{2} S$ , тогда:

$$m\ddot{x} = mg - \gamma \dot{x}^2.$$

При среднем весе человека 80 кг получаем:

$$\gamma = \frac{mg}{v_{\infty}^2} = 0.32, \text{ где } v_{\infty} = 50\text{--}60 \text{ м/с.}$$

Решая дифференциальное уравнение, получаем скорость падения:

$$v^2 = v_{\infty}^2 \left( 1 - e^{-\frac{2\gamma H}{m}} \right). \quad (4)$$

Зная скорость падения человека на тент, задавшись максимальным его прогибом (отсутствие касания поверхности натянутого тента с землей), можно определить или требуемую жесткость тента, или допустимую высоту падения. Приземление на натянутый тент обычно благополучно при падениях с небольших высот, поэтому выражение (4) можно упростить:

$$v = \sqrt{2gH}. \quad (5)$$

Применение выражения (5) для максимального прогиба мембраны приводит к простой зависимости прогиба мембраны от высоты падения тела человека:

$$A = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + 2H\Delta}.$$

Задаваясь высотой установки над поверхностью земли тента  $h$ , получаем, что предельная высота падения тела человека, определяется как:

$$H = \frac{h^2 - 2h\Delta}{2\Delta}.$$

Чем меньше прогиб  $\Delta$ , чем жестче тент, тем с большей высоты может падать человек с точки зрения обеспечения упругих свойств материала тента. Но, чтобы выжить при «приземлении» на тент, человек не должен разбиться при ударе о поверхность земли или испытать очень сильные перегрузки.

Таким образом, периодически тестируя спасательный тент, можно подтверждать его пригодность для продолжения возможности использования. Это очень важно, поскольку условия хранения тента с течением времени изменяют его прочностные и упругие свойства.

Также важен вопрос об обучении проведения процедуры самого спасения, но решение его лежит, главным образом, в организационной сфере, поскольку любой взрослый человек трудоспособного возраста способен участвовать в натяжении тента и кратковременно удерживать на нем падающего с высоты человека.

## Литература

1. Демидова Ю.М., Капралова М.А. Совершенствование систем пожарной безопасности в учебных заведениях РФ // Технические науки в России и за рубежом: материалы IV Междунар. науч. конф. М.: Буки-Веди, 2015. С. 109–113.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм. от 29 июля 2017 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Особенности работы с обучающимися по подготовке специалистов пожарной безопасности // Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов

II Межвуз. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 126–128.

4. Воронин С.В., Скрипник И.Л. Методологические основы и направления подготовки специалистов-профессионалов ГПС МЧС России // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов V Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 100–105.

5. Балабанов В.А., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Пути повышения качества профессиональной подготовки обучающихся в вузе // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 388–391.

6. Тархов Д.А., Каверзнева Т.Т., Идрисова Д.И. Анализ причин тяжелого и смертельного травматизма на строительной площадке // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 11 (спец. выпуск 60-2). 648 с. М.: Изд-во «Горная книга». С. 244–253.

7. Савченкова Л.А., Каверзнева Т.Т. Подбор материалов для обеспечения надежной эвакуации методом «прыжок на тент» // XLI Неделя науки СПбГПУ: материалы Междунар. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ч. XII. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2012. 86 с.

8. ГОСТ Р 53273–2009. Техника пожарная. Устройства спасательные прыжковые пожарные // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.02.2018).

9. НПБ 303-2001. Устройство спасательные прыжковые. Общие технические требования. Методы испытания // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.02.2018).

10. Мазуренко К.С., Каверзнева Т.Т., Носов В.Н. Оценка прогиба спасательного тента // Неделя науки СПбГПУ: материалы Науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб.: Изд-во Политех. ун-та. 2014. С. 33–36.

11. Носов В.Н. Теоретическая механика: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2013. 206 с.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алексеевко Ярослав Владимирович** – зам. нач. опер. отд. упр. (косм. мониторинга) ФКУ НЦУКС Федер. казенного учрежд. «Нац. центр упр. в кризисных ситуациях» МЧС России (121357, Москва, ул. Ватутина, д. 1); адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: alex.zik@mail.ru;

**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.;

**Каверзнева Татьяна Тимофеевна** – доц. Высш. шк. техносфер. безопасн. СПб политех. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус), канд. техн. наук, доц.;

**Коннова Людмила Алексеевна** – вед. науч. сотр. отд. перспект. разраб. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), д-р мед. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

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

**Кораблёв Владимир Антонович** – доц. каф. комп. теплофиз. и энергофиз. мониторинга СПб нац. исслед. ун-та информ. технол., механики и оптики (197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), тел.: (812) 314-15-87, e-mail: ktf.grv@ifmo.ru, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.;

**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.;

**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;

**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.;

**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.;

**Тилеубай Нурбол Сабитулы** – студент Казахского нац. ун-та им. аль-Фараби (Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, д. 71/27.);

**Трофимец Елена Николаевна** – доц. каф. высш. мат. и сист. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ezemifort@inbox.ru, канд. пед. наук, доц.;

**Трубилко Андрей Игоревич** – проф. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. физ.-мат. наук, доц.;

**Трубилко Людмила Алексеевна** – учитель физики ГБОУ СОШ № 80 Петроградск. р-на СПб с углубл. изуч. англ. яз. (197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 18, лит. А);

**Шарков Александр Васильевич** – зав. каф. СПб нац. исслед. ун-та информ. технол., механики и оптики (197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49), тел.: (812) 314-15-87, e-mail: ktf.grv@ifmo.ru, д-р техн. наук, проф.



---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 года, 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 российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – 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 реализуется 93 образовательные программы.

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, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется 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 специальности «Горное 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, 12 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 40 докторов наук, 212 кандидатов наук,

40 профессоров, 106 доцентов, 18 академиков отраслевых академий, 11 членов-корреспондентов отраслевых академий, 4 старших научных сотрудника, 8 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 1 почетный работник высшего профессионально-технического образования Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации и 2 почетных работника общего образования Российской Федерации.

В составе университета:

- 35 кафедр;
- 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.

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области обеспечения пожарной безопасности. Основные направления деятельности НИИ: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Судебная экспертиза», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.



Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск, Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 6 837 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Так же университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и Постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 11 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями Университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-Сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны (МОГО), Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, информационно правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

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 320 000 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 сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного 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 США). Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2018 г. в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати, включая иностранные журналы, активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. 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 единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 7 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, 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 (ISSN). 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 публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – 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.

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) включает в себя 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. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

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 тексте 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. Грэгджану 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)**

**№ 2 (26) – 2018**

Выпускающий редактор П.А. Болотова

---

Подписано в печать 29.06.2018. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. 8,75 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

---

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