

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

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

**№ 1 (25) – 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**

Остудин Н.В. Модель принятия решений по реагированию на чрезвычайные ситуации при децентрализованной структуре управления .....	5
Нестеренко А.Г., Кораев К.В. Основные методы анализа и оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера .....	11

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

Отгон Ф.В., Дементьев Ф.А., Иванов А.В. Нейросетевое решение обратной задачи идентификации светлых нефтепродуктов методом спектроскопии комбинационного рассеяния в целях пожарно-технической экспертизы .....	15
Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Моделирование процесса распределения финансовых средств в интересах эффективной организации радиосвязи в МЧС России .....	22
Иванов К.С., Широухов А.В. Влияние компоновочной схемы базового шасси на динамику колебательных процессов в подвесках пожарно-спасательных автомобилей ...	28
Боева А.А., Иванов А.В., Шидловский Г.Л. Исследование компонентов модифицированных огнезащитных вспучивающихся композиций методом атомно-силовой микроскопии .....	33

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

Кузьмина Т.А., Кузьмин А.А. Структура информационного обеспечения практических занятий в вузах МЧС России .....	41
Медведева Л.В., Пермяков А.А. Теоретико-методологические аспекты и проблемы профессионализации инженерных кадров в техническом вузе .....	47
Воронин С.В., Скрипник И.Л., Кадочникова Е.Н. Разработка методики оценки обучающихся с использованием автоматизированных обучающих систем по дисциплине «Пожарная безопасность электроустановок».....	55
Лабинский А.Ю. К вопросу защиты от вредных факторов, сопутствующих чрезвычайным ситуациям .....	64

Сведения об авторах .....	70
Информационная справка .....	72
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты) .....	77

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

---

---

## МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РЕАГИРОВАНИЮ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СТРУКТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ

**Н.В. Остудин.**

**Центр управления в кризисных ситуациях**

**Главного управления МЧС России по Псковской области**

В статье путем анализа особенностей децентрализованной структуры управления в условиях чрезвычайных ситуаций определен характер зависимости между показателем уровня энтропии и количеством органов управления, участвующих в ликвидации чрезвычайных ситуаций. На основе полученной зависимости построена блок-схема алгоритма принятия решений по реагированию на чрезвычайные ситуации, которая обеспечивает оптимальное распределение сил и средств по каждому субъекту и минимизирует неопределенность при принятии управленческих решений при децентрализованной структуре управления.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация межрегионального характера, децентрализация управления, целевая функция, комбинаторная энтропия, мультиномиальный коэффициент, управленческое решение

## DECISION-MAKING MODEL IN EMERGENCY RESPONSE IN CASE OF DECENTRALIZED MANAGEMENT STRUCTURE

N.V. Ostudin. Emergency management center of the Main directorate of EMERCOM of Russia in Pskov Region

The nature of the dependence between the entropy index level and the number of management bodies participating in the disaster management is determined. It was determined on the base of the decentralized emergency management structure features analysis. On the basis of the obtained dependence, we have constructed a block diagram of the decision-making algorithm for emergency responding, which provides an optimal forces and resources supply for each entity and minimizes uncertainty in decisions making in the decentralized management structure.

*Keywords:* interregional emergency, control decentralization, objective function, combinatorial entropy, multinomial coefficient, management decision

В деятельности центров управления в кризисных ситуациях МЧС России существуют проблемы, связанные с качеством и оперативностью принимаемых решений, негативно влияющих на исход чрезвычайных ситуаций (ЧС), что может привести к дополнительным материальным затратам и недостаточно прогнозируемым последствиям [1].

Качество и объем получаемой информации о ЧС зачастую остаются недостаточными для принятия рационального решения, что связано с получением противоречивой информации, мешающей лицу, принимающему решение, оценить сложившуюся ситуацию и обеспечить управление процессом ликвидации ЧС [2].

В настоящее время в МЧС России проводится совершенствование структуры системы управления, постепенная ликвидация в ней межрегионального звена управления, что неизбежно приводит к необходимости решения и этого проблемного вопроса [3].

В связи с поэтапной ликвидацией межрегионального уровня органов повседневного управления Единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций возникают проблемы, связанные с ликвидацией ЧС межрегионального характера.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» ЧС межрегионального характера считается ситуация, в результате которой зона ЧС затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 чел., но не более 500 чел., либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн руб., но не более 500 млн руб. [4].

Происходит переход от централизованного (рис. 1) к децентрализованному управлению (рис. 2) ликвидаций межрегиональной ЧС. Переход к децентрализации управления сводится к тому, что зона ЧС, выступающая в роли объекта управления, распределяется между тремя начальниками главных управлений, выступающих в роли управляющего органа [5].

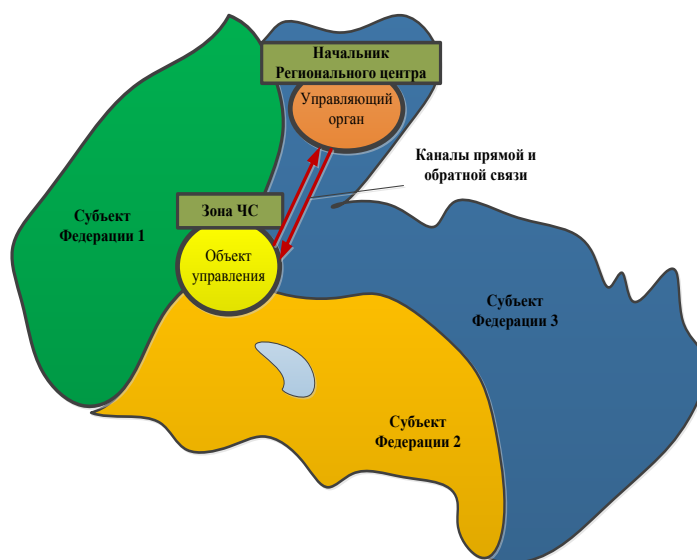


Рис. 1. Структура управления ликвидацией межрегиональной ЧС при централизованном управлении

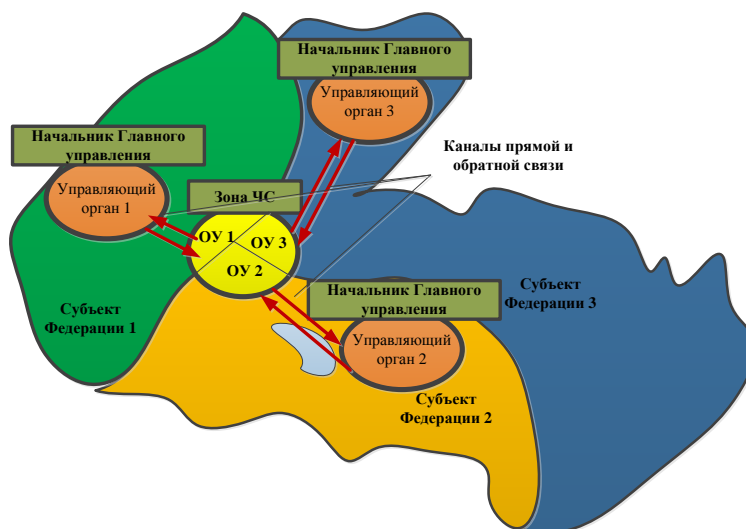


Рис. 2. Структура управления ликвидацией межрегиональной ЧС при децентрализованном управлении

Обозначения, используемые в общей постановке задачи оптимального децентрализованного управления ликвидацией межрегиональной ЧС представлены в таблице.

Таблица. Обозначения, используемые в общей постановке задачи децентрализованного управления

Обозначение	Значение	Обозначение	Значение
$S_{чс}$	площадь ЧС (общая)	$y$	значение увеличения количества погибших
$S_{чс_1}$	площадь ЧС (в первом субъекте)	$i$	значение увеличения объема материального ущерба
$S_{чс_2}$	площадь ЧС (во втором субъекте)	$T_1$	время прибытия к месту ЧС
$S_{чс_3}$	площадь ЧС (в третьем субъекте)	$T_2$	время локализации ЧС
$Q_{постр.}$	количество пострадавших (общее)	$A$	материальный ущерб (общий)
$Q_{постр.1}$	количество пострадавших (в первом субъекте)	$A_1$	материальный ущерб (в первом субъекте)
$Q_{постр.2}$	количество пострадавших (во втором субъекте)	$A_2$	материальный ущерб (во втором субъекте)
$Q_{постр.3}$	количество пострадавших (в третьем субъекте)	$A_3$	материальный ущерб (в третьем субъекте)
$Q_{погибш.}$	количество погибших (общее)	$L_{лс}$	количество личного состава, задействованного на ликвидацию ЧС
$Q_{погибш.1}$	количество погибших (в первом субъекте)	$L_{техн.}$	количество техники, задействованной на ликвидацию ЧС
$Q_{погибш.2}$	количество погибших (во втором субъекте)	$L_{отв.}$	объем огнетушащих веществ, задействованных на ликвидацию ЧС
$Q_{погибш.3}$	количество погибших (в третьем субъекте)	$L_{гсм.}$	объем горюче-смазочных материалов, задействованных на ликвидацию ЧС
$z$	значение увеличения площади ЧС	$L_{фр.}$	объем финансовых ресурсов, задействованных на ликвидацию ЧС
$x$	значение увеличения количества пострадавших	$P$	объем имеющихся ресурсов

Общая задача оптимального управления сводится к минимизации целевой функции  $F_1$ , соответствующей площади ЧС, количеству погибших и пострадавших, а также объему материального ущерба и минимизации целевой функции  $F_2$ , отражающей значения возрастания данных показателей и учитывающей время прибытия сил и средств к месту ЧС и время ликвидации ЧС, при условии, что значения количества пострадавших и погибших, а также объем материального ущерба к моменту поступления сигнала о ЧС остается величиной постоянной.

$$\min F_1 = \left\{ \begin{array}{l} S_{\text{чс}} = S_{\text{чс}_1} + S_{\text{чс}_2} + S_{\text{чс}_3} \\ Q_{\text{постр.}} = Q_{\text{постр.1}} + Q_{\text{постр.2}} + Q_{\text{постр.3}} \\ Q_{\text{погибиш.}} = Q_{\text{погибиш.1}} + Q_{\text{погибиш.2}} + Q_{\text{погибиш.3}} \\ A = A_1 + A_2 + A_3 \end{array} \right\},$$

при  $50 \text{ чел.} < Q_{\text{постр.}} < 500 \text{ чел.}$  и  $5 \text{ млн.} < A < 500 \text{ млн.}$

$$\min F_2 = \{S_{\text{чс}} + z; Q_{\text{постр.}} + x; Q_{\text{погибиш.}} + y; A + i; T_1 + T_2\},$$

при  $Q_{\text{постр.}}, Q_{\text{погибиш.}}, A = \text{const.}$

Задача принятия решений по реагированию на ЧС при децентрализованной структуре управления сводится к заданию значений управляемых характеристик  $L_{\text{лс}}, L_{\text{техн.}}, L_{\text{отв.}}, L_{\text{гсм.}}, L_{\text{фр.}}$ .

На целевые функции  $F_1$  и  $F_2$  накладываются ограничения, определяющие, что значения управляемых характеристик не должны превышать объемы имеющихся ресурсов:

$$\{L_{\text{лс}}, L_{\text{техн.}}, L_{\text{отв.}}, L_{\text{гсм.}}, L_{\text{фр.}}\} \leq P.$$

Основной проблемой при принятии решении является также минимизация неопределенности или энтропии. У каждого начальника Главного управления есть множество вариантов значения управляемых характеристик системы, среди которых необходимо выбрать оптимальные. Для ЧС межрегионального характера количество вариантов возрастает втрое (в зависимости от количества субъектов, подвергшихся ЧС). В этом случае речь идет о комбинаторной энтропии. Количество вариантов в этом случае позволяет просчитать мультиномиальный коэффициент:

$$W = 3 * \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_n!} = 3 * \frac{N!}{\prod N_i},$$

где  $i$  – число вариантов распределения сил и средств.

При этом  $\frac{\log_2(W)}{N}$  – это значение одного варианта распределения сил и средств для одного начальника Главного управления.

Эта величина называется комбинаторной энтропией и определяется выражением:

$$S_{\text{comb}} = \frac{\log_2(W)}{N} = \frac{1}{N} \log_2 \left( 3 * \frac{N!}{\prod N_i} \right) = \frac{1}{N} \log_2 \left( 3 * \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_n!} \right).$$

Используя свойства логарифмов значение комбинаторной энтропии, можно представить в виде:



$$S_{comb} = \frac{1}{N} (\log_2 3 + (\log_2(N!) - \log_2(\sum N_i))).$$

В связи с тем, что в условиях принятия решения тремя начальниками главных управлений количество расстановок сил и средств велико, возможно воспользоваться формулой Стирлинга:

$$\ln N! = N \ln N - N + O(\ln N) \approx N \ln N - N.$$

Применив формулу, получаем:

$$\begin{aligned} S_{comb} &= \frac{1}{N} (\log_2 3 + (\log_2(N!) - \log_2(\sum N_i))) \approx \\ &\approx k \frac{1}{N} (\log_2 3 + N \ln N - N - \sum (N_i \ln N_i) + \sum N_i), \end{aligned}$$

где  $k$  – коэффициент перехода к натуральным логарифмам, так как  $\sum N_i = N$ , то:

$$s \approx \log_2 3 * k \frac{1}{N} \left( \left( \sum N_i \right) \ln N - \sum (N_i \ln N_i) \right) = -\log_2 3 \left( \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N} \right).$$

Поскольку общее количество вариантов распределения сил и средств  $N$ , а количество вариантов оптимального распределения сил и средств –  $N_i$ , то вероятность выбора оптимального состава сил и средств:

$$p_i = \frac{N_i}{N}.$$

Исходя из этого, формула для энтропии примет вид:

$$s = -\log_2 k \sum p_i \log_2 p_i,$$

где  $k$  – количество субъектов, затронутых ЧС.

Полученная формула позволяет проследить логарифмическую зависимость между показателем уровня энтропии и количеством органов управления, участвующих в ликвидации ЧС.

На основе полученной модели построена блок-схема алгоритма принятия решений по реагированию на ЧС при децентрализованной структуре управления, которая сводится к нахождению оптимального распределения сил и средств по каждому субъекту, а также к минимизации неопределенности при принятии управленческих решений [6].

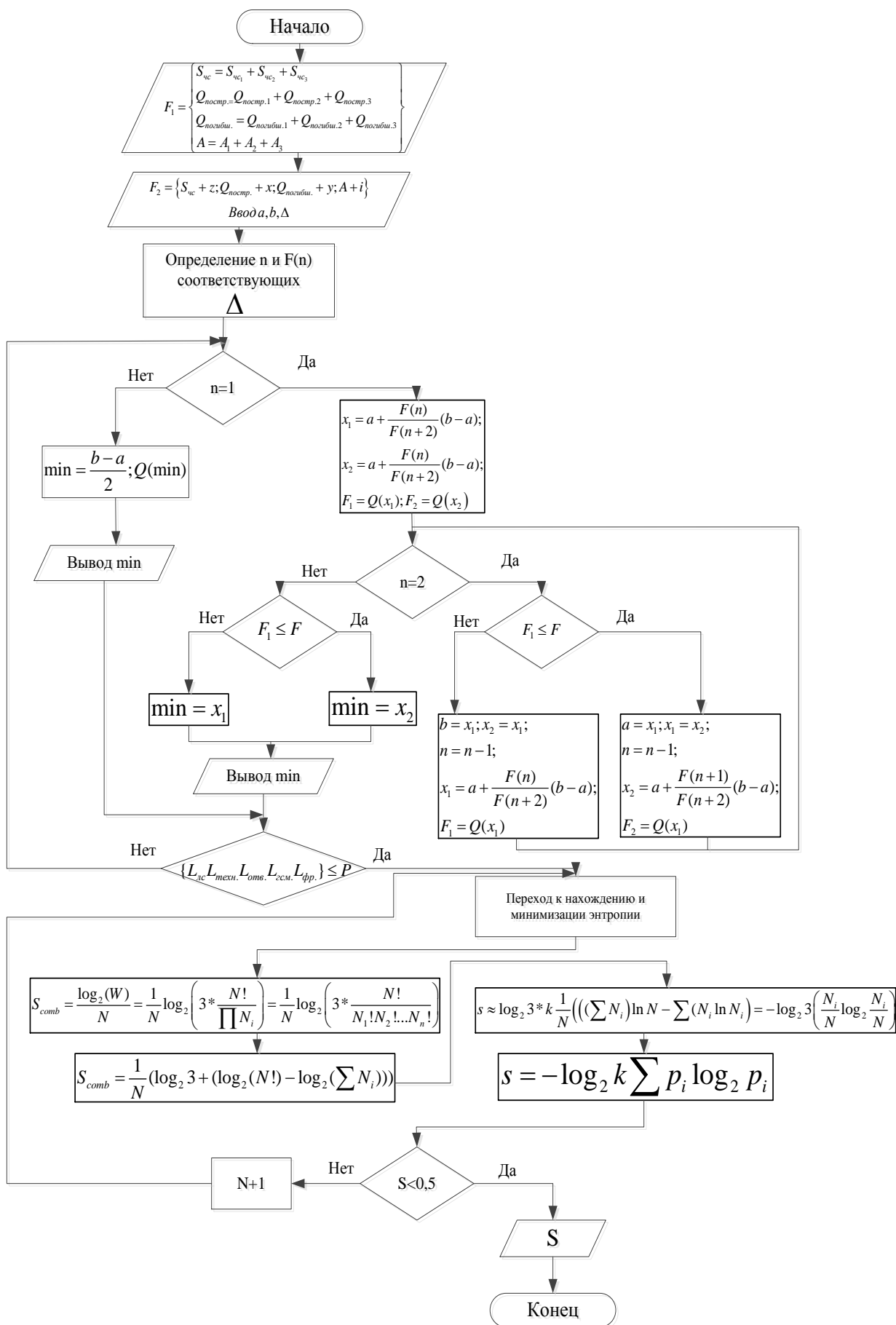


Рис. 3. Блок-схема алгоритма принятия решений по реагированию на ЧС при децентрализованной структуре управления

## **Литература**

1. Остудин Н.В., Антюхов В.И. Методика выявления и анализа проблемных вопросов в деятельности должностных лиц ЦУКС МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 1. С. 97–106.
2. Антюхов В.И., Остудин Н.В., Сорока А.В. Методика выявления перечня задач интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 4. С. 63–76.
3. Антюхов В.И., Остудин Н.В. Моделирование процесса интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 2. С. 78–94.
4. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Постановление Правительства Рос. Федерации от 21 мая 2007 г. № 304. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. Модель информационной поддержки принятия решения при оценке деятельности сотрудников МЧС России / В.А. Онов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 2. С. 5–13.
6. Антюхов В.И., Остудин Н.В. Алгоритмизация деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Технологии техносферной безопасности». 2017. № 2 (42). С. 10–15.

## **ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

**А.Г. Нестеренко, кандидат технических наук, доцент;  
К.В. Кораев.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Произведен анализ возможных угроз возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на магистральном газопроводе, проходящем по территории Северного Кавказа; дана краткая характеристика магистрального газопровода «Дзуарикау-Цхинвал», который проходит из Северной Осетии в Южную Осетию; определены основные риски, связанные с прохождением магистрального газопровода в сложно доступных местах; проведен краткий анализ различных методических рекомендаций и руководств при возникновении чрезвычайных ситуаций различного характера на магистральных газопроводах.

*Ключевые слова:* риски, магистральный газопровод, оценка, ущерб

## **BASIC METHODS OF ANALYSIS AND ASSESSMENT OF RISKS OF EMERGENCIES OF NATURAL AND TECHNOGENIC CHARACTER**

A.G. Nesterenko; K.V. Koraev.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article made the analysis of potential threats of emergency situations of natural and technogenic character on the main gas pipeline passing through the territory of the North Caucasus, the brief description of the gas pipeline «Dzuarikau-Tskhinvali» which runs from North Ossetia to South Ossetia, identified key risks associated with the passage of the main gas pipeline

to be conducted a brief analysis of various methodological recommendations and guidelines in emergency situations of different nature in gas mains.

*Keywords:* risks, main gas pipeline, assessment, damage

Ежегодно как в Российской Федерации, так и во всем мире происходят чрезвычайные ситуации (ЧС) природного и техногенного характера. Причем тяжесть последствий различных стихийных бедствий, аварий, катастроф имеет тенденцию к возрастанию: как правило, растет материальный ущерб, остаются значительными потери населения, наносится непоправимый ущерб природной среде. Основными причинами этого в первую очередь являются большая площадь нашей страны, многочисленные производства, находящиеся на ее территории. В настоящее время в Российской Федерации функционирует свыше 2,5 тыс. химически опасных объектов, более 1,5 тыс. радиационно опасных объектов, 8 тыс. пожаро- и взрывоопасных объектов, более 30 тыс. гидротехнических сооружений и других потенциально опасных объектов. Большая часть этих объектов представляет не только экономическую, оборонную и социальную значимость для страны, но и потенциальную опасность для здоровья и жизни населения, а также окружающей природной среды. В зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на этих объектах проживает свыше 90 млн жителей страны.

Строительство и эксплуатация газопроводов в районах Северного Кавказа являются стратегически важными для Российской Федерации и имеют геополитическое значение. Следует отметить, что магистральные газопроводы, проложенные в горных условиях, относятся к критически важным объектам, и обеспечение их безопасности является первостепенной задачей, а их защищенность рассматривается как важнейший показатель по критериям риска, так как нарушение их работы влияет на состояние безопасности целого региона и окружающей среды. Опасность от предприятий газовой отрасли обуславливается возможностью химического поражения людей и заражения значительных площадей, также взрыво- и пожароопасностью. Уровень риска и негативные последствия от техногенных аварий и природно-техногенных катастроф за последние годы становятся неприемлемыми для дальнейшего социально-экономического развития территорий Северного Кавказа. Здесь крайне важно учитывать риски, связанные со спецификой строительства, прокладкой и эксплуатацией магистральных газопроводов для защиты людей и окружающей среды от нанесения ущерба в результате вероятных аварий и техногенных катастроф.

Аварии на магистральных газопроводах часто несут существенный ущерб окружающей среде, нередко бывают причиной гибели людей и приводят к значительному экологическому и экономическому ущербу.

Магистральные газопроводы отличаются по сравнению с другими видами транспорта высокой производительностью и значительной протяженностью, а также высокой уязвимостью от агрессивных воздействий со стороны внешней среды. Кроме того, из-за большой протяженности по длине трассы меняются конструктивно-технологические параметры и эксплуатационные условия, что ведет к изменению вдоль трассы как интенсивности аварий, так и сценариев их развития и величины ущерба.

Под опасностью или риск-фактором понимается потенциальный источник потерь (вреда), который может быть нанесен людям, имуществу или окружающей среде, а также любое неконтролируемое событие или условие, способное самостоятельно или в совокупности с другими событиями и условиями привести к инциденту, аварийной или ЧС. При этом выделяются опасности, которые при наличии неопределенной ситуации могут привести к возможным серьезным последствиям. Для расчета возможных экономических последствий от нанесенного ущерба используется моделирование возникновения чрезвычайных и аварийных ситуаций.

Проведенный анализ действующих нормативных документов показал, что разработанные методики и модели не всегда позволяют оценить напряженно-деформируемое состояние газопровода при его работе в сложных природно-геологических условиях.

При анализе риск-факторов магистральных газопроводов следует разделять природные и техногенные риски.

К природным относятся такие факторы, как: наличие снежного покрова различной толщины, которое приводит к сходу лавин; наводнения; затопления объектов газопроводов; подводные переходы; лесные пожары; изменения ландшафта; землетрясения; термоэрозия; термокарстовые явления; ветровые нагрузки; обледенение; оползневые и селевые участки.

К техногенным рискам можно отнести: ошибки в проектировании; коррозию металла; ошибки персонала; отказ оборудования; перемещение газопровода при взаимодействии с мерзлыми грунтами; нерегулярное электроснабжение; изменение ландшафта после прокладки газопроводов; образование трещин-свищей; образование газоконденсатных и гидратных пробок; изменение пластичности и предела текучести металла; уточнение толщины стенок; длительность эксплуатации, старение изоляции [1].

Помимо факторов риска, связанных с техническим состоянием объектов магистральных газопроводов, необходимо учитывать такие обстоятельства, как близость газопровода к населенным пунктам и природным объектам, подверженным экологическому загрязнению; внешние антропогенные (например, несанкционированные врезки в магистральный газопровод).

Для предупреждения возникновения внештатных ситуаций при транспортировке углеводородного сырья необходимо разработать систему мониторинга на случаи возникновения аварийных ситуаций, выявить потенциально опасные участки прохождения газопроводов. Выявление таких участков наряду с аэровизуальным обследованием, мониторингом планово-высотного положения газопровода, внутритрубной диагностикой, исследованием напряженно-деформированного состояния проводится с помощью технических средств и позволяет определить причины потери устойчивости газопроводов.

Помимо этого все решаемые задачи требуют обеспечения всестороннего управления силами Единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Управление заключается в целенаправленной деятельности руководящего состава органов управления всех подсистем и уровней по поддержанию их в готовности и руководству ими при действиях по защите населения, предупреждению и ликвидации ЧС. Главной целью управления является обеспечение эффективного использования сил и средств различного предназначения в интересах выполнения поставленных задач в кратчайшие сроки с минимальными потерями [2].

При оценке безопасности участков магистральных газопроводов, которые эксплуатируются в сложных инженерно-геологических условиях, важно знать динамику развития процессов на участках со сложными геологическими условиями. Как правило, на таких участках вследствие взаимовлияния газопровода и окружающих грунтов в металле трубы возникают дополнительные нагрузки в виде изгибающих моментов и растягивающих или сжимающих сил. Если на таких участках газопровода имеются различные концентраторы напряжений, то перенапряжение представляет реальную угрозу безопасности газопровода. Во избежание этой угрозы необходимо оценить напряжения в газопроводе с учетом происходящих грунтовых изменений в разных условиях [3].

При описании газопроводной системы, как правило, приводятся сведения об основных технологических характеристиках газопроводной системы (диаметр газопровода, год ввода в эксплуатацию, количество ниток, рабочее давление, производительность газопровода, описание перерабатывающей системы, насосных агрегатов, конструкции переходов через водные преграды, пересечения с транспортными путями и др.). Приводятся сведения о действующей системе обеспечения безопасности, включая систему управления процессом перекачки нефти, методы обнаружения утечек, характеристики арматуры, наличие аварийно-восстановительных пунктов, средств ликвидации аварий, ход выполнения мероприятий по повышению надежности и безопасности. В связи с чем, несомненно, актуальна необходимость приведения статистики происшедших аварий и неполадок, сведений о последствиях аварий и эффективности их ликвидации и другой информации, позволяющей качественно оценить состояние безопасности газопровода.

По территории Республики Северная Осетия – Алания проходят основные магистральные газопроводы высокого давления, в том числе обеспечивающие поставки природного газа в страны Закавказья. Общая протяженность магистральных газопроводов и газопроводов-отводов на территории Республики составляет около 614 км, в том числе 12 участков магистральных газопроводов. Наиболее важный, по своему расположению и уникальному инженерному сооружению, газопровод «Дзуарикау-Цхинвал», который проходит из Северной Осетии в Южную Осетию. Газопровод не имеет мировых аналогов по уровню сложности. Протяженность газопровода 174 км. Почти половина трассы газопровода (75,4 км) проложена в горной местности на высоте более 1 500 м, в районах высокой сейсмичности, оползневых, селеопасных и лавиноопасных участках протяженностью до нескольких сотен метров, а также зонах тектонических разломов протяженностью от 2 до 15 м. На трассе проложено 15 тоннелей общей протяженностью 1 848 м, построено 29 переходов через водные преграды. Трасса проходит через пять горных хребтов, а на перевале Кударский преодолевает точку в 3 148 м. Диаметр трубы 426 мм, рабочее давление – 50 атмосфер, пропускная способность – 252,5 млн куб. м газа в год [4].

В ряде ведомственных методических руководств для конкретных газопроводных систем:

- определяется исходная информация;
- анализируются ограничения, накладываемые на применение методики наличием «информационных пробелов»;
- обосновываются предположения о возможном содержании отсутствующей информации;
- делаются выводы о допустимости применения методики или ее отдельных элементов в условиях недостаточности исходной информации.

Разработанные ранее методики по прогнозированию и ликвидации ЧС не в полной мере соответствуют тем требованиям, которые предъявляются к газопроводу «Дзуарикау-Цхинвал». Ввиду этого требуется разработка новых подходов и методов реагирования на ЧС природного и техногенного характера, для того чтобы минимизировать потери со стороны населения и снизить материальный ущерб и уровень возможной экологической катастрофы в регионе Северного Кавказа.

### **Литература**

1. Промышленная безопасность и надежность магистральных трубопроводов / под ред. А.И. Владимирова, В.Я. Кершенбаума. М.: Национальный институт нефти и газа, 2009.
2. Нестеренко А.Г., Кораев К.В. Особенности развития системы комплексной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации в вопросах управления и взаимодействия с использованием специализированного Арктического класса. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016.
3. Ревазов А.М. Анализ чрезвычайных и аварийных ситуаций на объектах магистрального газопроводного транспорта и меры по предупреждению их возникновения и снижению последствий // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2010. № 1. С. 68–72.
4. Нестеренко А.Г., Кораев К.В. Анализ основных причин возникновения аварий на газопроводах Республики Северная Осетия эксплуатирующихся в сложных условиях // Предупреждение. Спасение. Помощь: XXVII Междунар. науч.-практ. конф. Химки, 2017.



---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

## НЕЙРОСЕТЕВОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

**Ф.В. Отгон;**

**Ф.А. Дементьев, кандидат технических наук, доцент;**

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

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены результаты исследований идентификации светлых нефтепродуктов методом комбинационного рассеяния через различные промежутки времени в целях пожарно-технической экспертизы. Для оценки результатов применялся метод моделирования с помощью нейронных сетей.

*Ключевые слова:* светлые нефтепродукты, спектроскопия комбинационного рассеяния, нейронные сети, пожарно-техническая экспертиза

## NEURAL NETWORK SOLUTION OF INVERSE PROBLEM OF IDENTIFICATION OF LIGHT PETROLEUM PRODUCTS BY RAMAN SPECTROSCOPY FOR FIRE INVESTIGATION

F.V. Otgon; F.A. Dementiev; A.V. Ivanov.

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

Present results of research of the identification of light petroleum products by the Raman scattering method at different intervals for the purposes of fire investigation. A simulation method was used to evaluate results with the help of neural networks.

*Keywords:* light petroleum products, Raman spectrometry, neural network architecture, fire investigation

С появлением лазеров, более доступных и чувствительных CCD-матриц, голографических фильтров и применение Фурье-преобразования в приборах положили начало возрождению Рамановской спектроскопии как основного средства бесконтактного неразрушающего анализа веществ. Спектры комбинационного рассеяния чувствительны к природе химических связей – как в органических молекулах и полимерных материалах, так и в неорганических кристаллических решетках и кластерах.

Поскольку Рамановская спектроскопия обеспечивает проведение бесконтактных и удаленных измерений и при этом полностью совместима с анализом светлых

нефтепродуктов, данный метод оптимален для идентификации светлых нефтепродуктов в целях пожарно-технической экспертизы [1].

Принципиальная необходимость наличия классификации (рис. 1) любых объектов экспертных исследований определяется многоуровневостью решаемых экспертных задач. При экспертном исследовании легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) решаются диагностические и идентификационные задачи. Диагностические задачи подразумевают обнаружение на месте пожара следов ЛВЖ и горючих жидкостей (ГЖ) и установление их групповой принадлежности вплоть до типа и марки найденной ЛВЖ. Идентификационные задачи включают подробный анализ химического состава обнаруженных ЛВЖ, ГЖ и сравнение его с конкретными аналогами для установления их общности.

Инфракрасная спектроскопия является одним из наиболее мощных аналитических методов и повседневно используется в фундаментальных и прикладных исследованиях, а также для контроля производственных процессов. Наиболее широко применяется в настоящее время методика спектрального анализа в инфракрасной (ИК) области – Фурье-ИК.

Особенностью лабораторного инструментального изучения образцов по поводу наличия следов ГЖ является то, что этот вид анализа требует пробоподготовки, то есть перевод образца в аналитически приемлемую форму. Поэтому недостатком метода ИК-спектроскопии является сложность пробоподготовки и приведение образца в аналитическую форму [2].

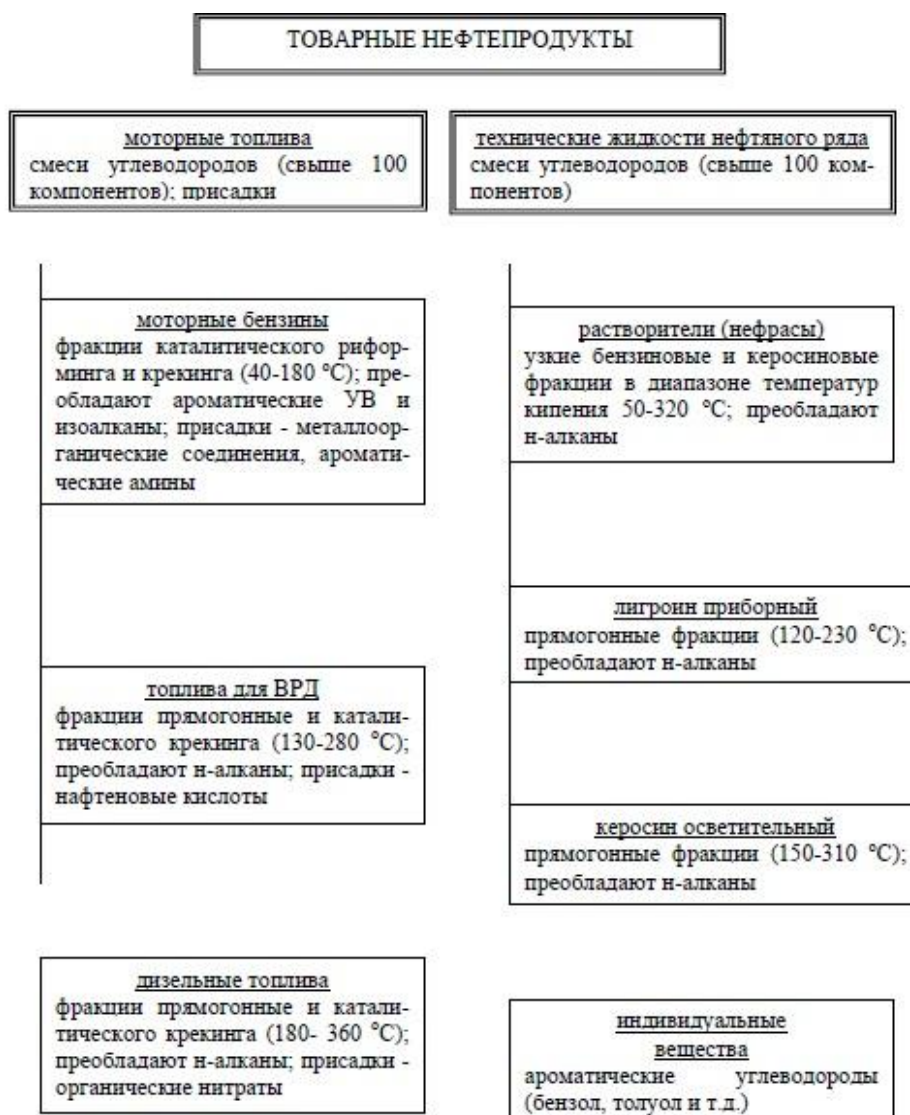


Рис. 1. Классификация ЛВЖ, ГЖ не нефтяного ряда и особенности их химического состава, используемые для решения диагностических задач



Стоит отметить, что при исследовании многокомпонентных систем, как правило, определяется состав двух или трехкомпонентных смесей при содержании одного компонента не менее 5–10 %, в остальных случаях требуется дополнительное разделение компонентов или их концентрирование.

ИК-спектроскопия имеет и ряд преимуществ: спектры поглощения характеризуются большой индивидуальностью и отображают скелетные колебания и колебания характеристических групп в молекуле, что и определяет ценность метода при изучении структурно-группового состава вещества или материала [3, 4].

Определение марки бензина методом газожидкостной хроматографии требует наличие капиллярной колонки длиной 100 м с жидкой фазой из диметилполисилаксана. Многие газовые хроматографы имеют колонку длиной только в 30 м с фазой из сополимера полисилаксана, состоящей из блоков дифенилполисилаксана (50 %) и диметилполисилаксана (50 %).

Создается проблема невозможности определения некоторых компонентов после выгорания нефтепродуктов. Возможность определения марки бензина в условиях лаборатории может сводиться к выявлению характерных пиков, по соотношению площадей которых будет оцениваться марка бензина.

Для этого необходимо получить сходимые хроматограммы нативных (исходных) бензинов разных марок и выявить минимальный набор пиков. Например, как показано на рис. 2: отношения пика толуола меняется от одной марки бензина к другой.

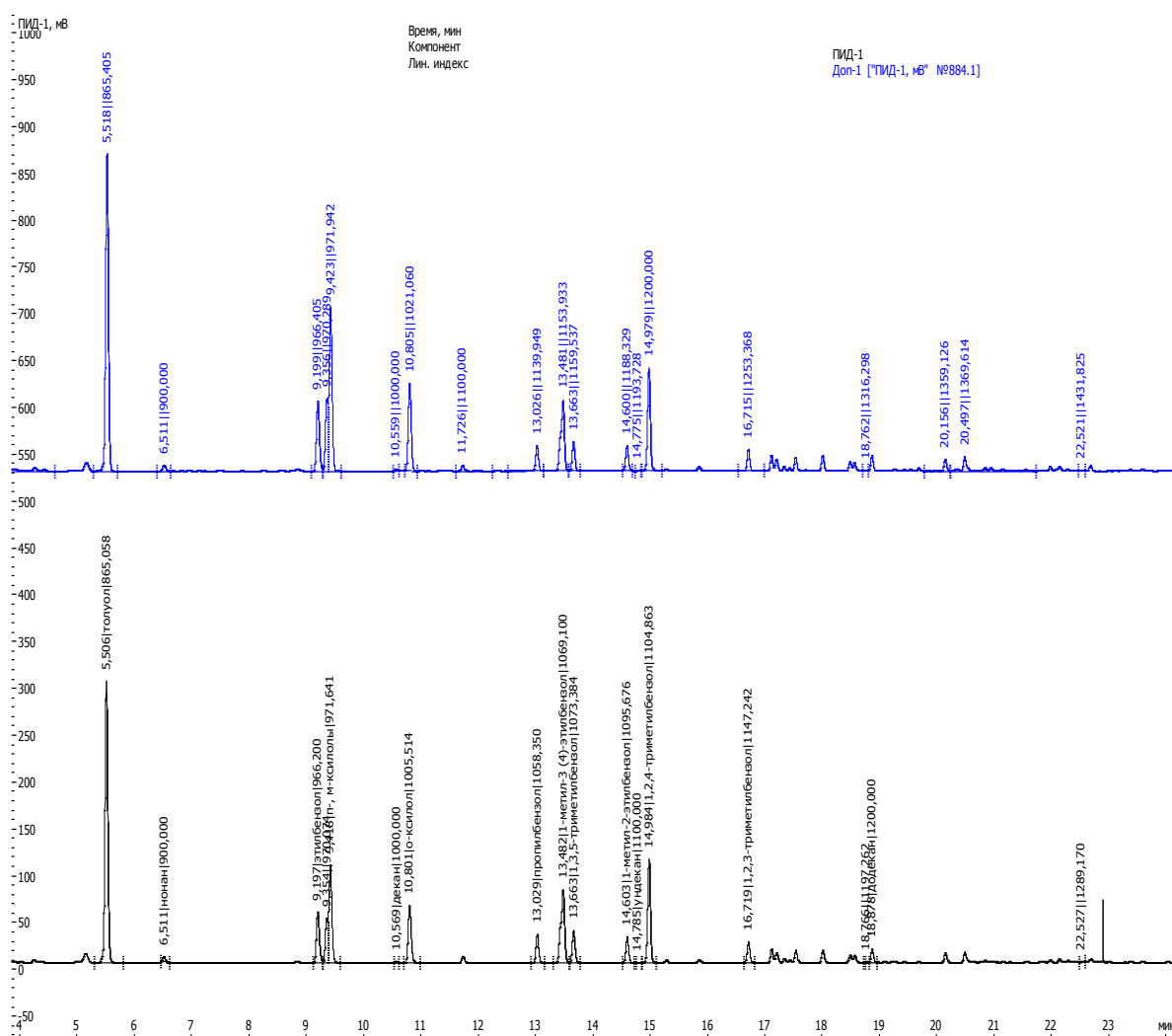


Рис. 2. Хроматограммы бензинов марок АИ-92 «Лукойл» (синим цветом) и марки АИ-95 «премиум» (черным цветом)

Таким образом, определение марки бензина методом газожидкостной хроматографии представляет собой сложную задачу, которая включает ряд сложных аналитических операций. Стоит отметить универсальность метода газовой хроматографии: разделение и анализ самых различных смесей [5, 6]. По своим возможностям анализа многокомпонентных смесей газовая хроматография не имеет конкурентов. Высокая чувствительность метода и высокая точность анализа позволяет определять малые концентрации. Но стоит отметить и существенные ограничения метода газовой хроматографии: это невозможность разделения и анализа смесей нелетучих соединений, осложнения при разделении и анализе термически нестабильных соединений [7].

Целью исследования являлось определение возможности идентификации автомобильных бензинов методом спектроскопии комбинационного рассеяния спустя определенные промежутки времени.

При постановке эксперимента в качестве исследуемых объектов использовались автомобильные бензины АИ-92, АИ-95, АИ-98, которые наносились на стекло и выдерживались 2, 4, 5 и 14 дней.

Учитывая возможные проблемы идентификации, при постановке эксперимента применялась спектроскопия комбинационного рассеяния. При применении метода спектроскопии комбинационного рассеяния важным преимуществом, по сравнению с остальными методами идентификации, является практически полное отсутствие процесса пробоподготовки [8].

Объектами исследования стали марки автомобильных бензинов АИ-92 «Лукойл», АИ-95 «Газпромнефть», АИ-98 «Газпромнефть», дизельное топливо и нефтяные растворители, произведенные на разных нефтеперерабатывающих заводах. Образцы наносились на предметное стекло в объеме 100 мкл и выдерживались при нормальных условиях различное количество времени, после чего проводился анализ исследуемых образцов. Исследования проводились на установке N-TegraSpectra при использовании лазера с длиной волны 532 нм [3].

Далее представлены результаты исследования автомобильных бензинов, выдержанных 2, 4, 5 и 14 дней (рис. 3–6).

На основании полученных данных возможно проведение аналитической оценки КР-спектров, при этом предполагается использование метода нейронных сетей, что позволит с достаточной точностью определять вид нефтепродукта и время, в течение которого он находился в среде.

Из рис. 3–6 видно, что пики бензинов АИ-92 «Лукойл» АИ-95 «Газпромнефть», АИ-98 «Газпромнефть», спустя различные промежутки времени имеют разное значение интенсивности, при этом их функциональные группы полностью идентичны, что свидетельствует о возможности идентификации нефтепродуктов методом КР-спектроскопии спустя длительные промежутки времени с момента поджога [9].

Далее методом экспертной оценки выбирались пики из всего спектра, которые могли быть значимыми для дальнейшей экспертизы. Всего было выбрано 26 пиков (X1-X26) от 531 до 5 727 см<sup>-1</sup>, которые в дальнейшем будут являться входными параметрами для нейронной сети.

Входные параметры были выбраны для бензинов, выдержанных 2, 4, 5 и 14 дней (Y). Исследования сетей проводились в программе Statistica – программный пакет для статистического анализа, разработанный компанией StatSoft, реализующий функции анализа данных, управления данными, добычи данных, визуализации данных с привлечением статистических методов [10]. Далее приведена таблица входных параметров (табл. 1).

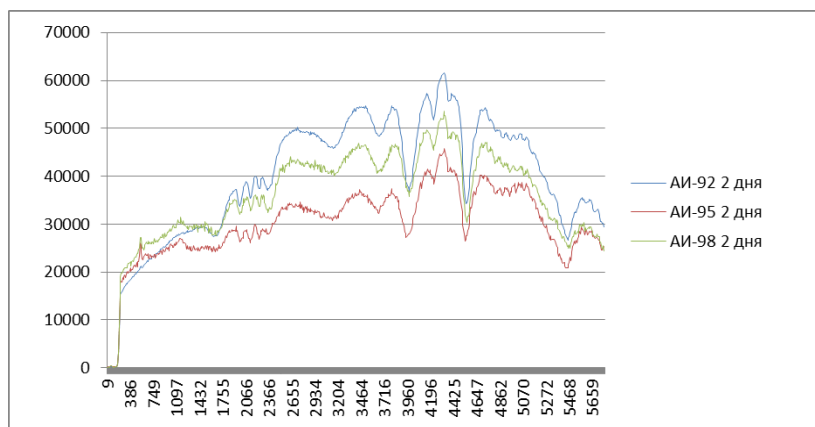


Рис. 3. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных два дня

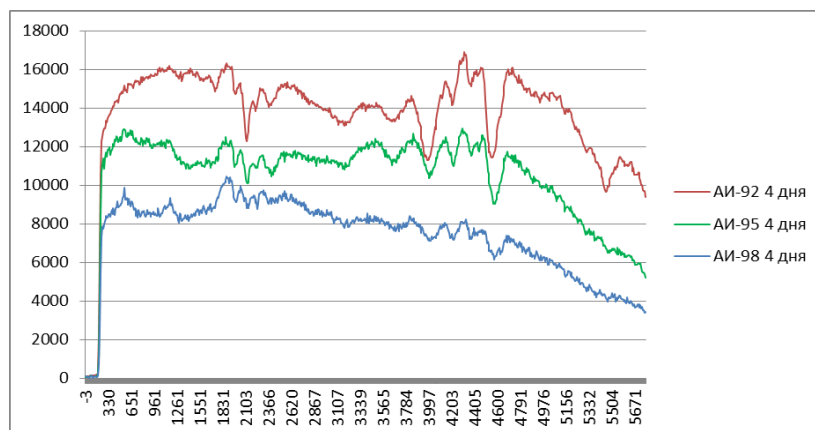


Рис. 4. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных четыре дня

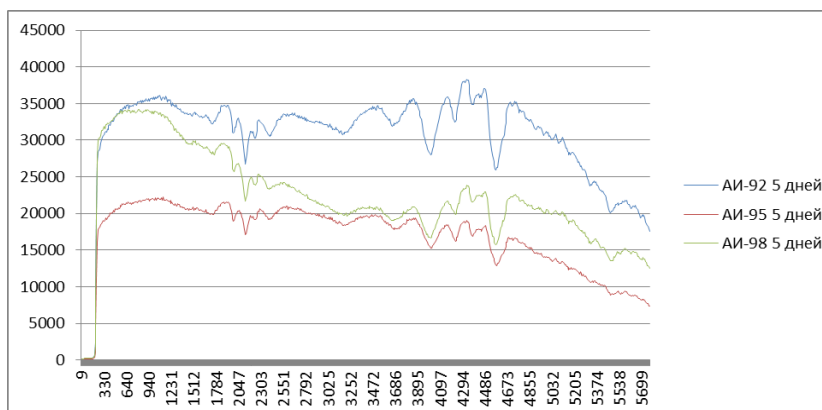


Рис. 5. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных пять дней

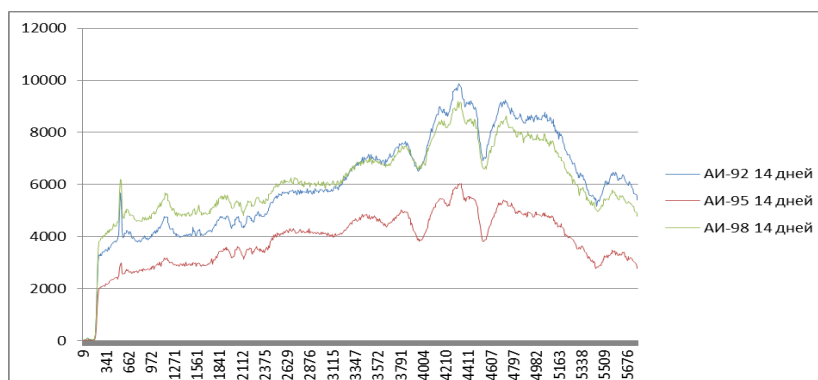


Рис. 6. Рамановские спектры автомобильных бензинов, выдержанных 14 дней

Таблица 1. Входные параметры

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	Y	Марка бензина
21092	38718	39943	39921	54695	57332	37237	47871	53877	54292	2	АИ-92
3735	4114	4249	4162	5357	5931	3983	5278	5753	5729	2	АИ-95
4196	5373	5567	5428	7122	7360	5326	6336	7100	7237	2	АИ-98
14780	14765	14360	14922	14093	15719	12314	13288	15810	15751	4	АИ-92
6412	5799	5556	5740	6080	5976	5348	4792	5787	5779	4	АИ-95
3118	3198	3118	3212	2605	2484	2360	2219	2465	2392	4	АИ-98
33868	31792	31206	32753	34631	35805	30407	29264	34823	34952	5	АИ-92
20678	20031	19499	20212	18962	17390	15601	14084	16762	16549	5	АИ-95
33566	25582	25058	25383	20300	22029	18987	18185	22083	22498	5	АИ-98
5020	4774	4771	4792	7506	9142	7217	8199	9121	9093	14	АИ-92
2806	3564	3494	3625	4887	5527	4119	4705	5290	5356	14	АИ-95
5740	5316	5336	5499	7241	8485	6953	7466	8282	8467	14	АИ-98

В результате получилось несколько нейронных сетей. Структура нейронных сетей приведена на рис. 7.

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error	Test error	Validation error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
18	MLP 60-4-1	0,986863	0,391171	0,916380	0,270666	11,77971	3,03878	BFGS 23	SOS	Exponential	Tanh
8	MLP 60-4-1	0,961013	0,489469	0,683025	0,803652	10,96770	5,87606	BFGS 20	SOS	Exponential	Tanh
7	MLP 60-6-1	0,954910	0,744988	0,926213	0,926836	9,21083	3,10216	BFGS 27	SOS	Tanh	Tanh
14	MLP 60-13-1	0,950421	0,620836	0,870836	0,997131	9,97284	3,15005	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
15	MLP 60-18-1	0,945305	0,672268	0,677148	1,104093	10,73676	4,88650	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
11	MLP 60-13-1	0,944008	0,437319	0,742043	1,127247	11,49290	4,43749	BFGS 19	SOS	Tanh	Tanh
16	MLP 60-25-1	0,943914	0,597948	0,762989	1,130300	10,88740	3,77765	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
19	MLP 60-11-1	0,946108	0,412927	0,761015	1,133703	11,46122	4,46013	BFGS 20	SOS	Tanh	Tanh
6	MLP 60-12-1	0,943287	0,589960	0,696718	1,141605	10,54931	4,85228	BFGS 23	SOS	Tanh	Tanh
9	MLP 60-6-1	0,940136	0,701621	0,714125	1,195434	12,13949	5,95357	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
13	MLP 60-21-1	0,938264	0,719352	0,684372	1,228656	12,88786	5,87928	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic
17	MLP 60-11-1	0,936482	0,446142	0,704251	1,282953	11,71209	5,73338	BFGS 14	SOS	Exponential	Tanh
5	MLP 60-8-1	0,932863	0,705157	0,794997	1,337061	16,27417	7,99875	BFGS 0	SOS	Tanh	Logistic
20	MLP 60-30-1	0,932220	0,401101	0,705784	1,346384	11,79895	4,97013	BFGS 26	SOS	Logistic	Logistic
4	MLP 60-4-1	0,926498	0,310139	0,699649	1,465542	12,87002	5,25289	BFGS 17	SOS	Tanh	Logistic
12	MLP 60-9-1	0,923952	0,750522	0,721361	1,593781	16,31491	8,18588	BFGS 0	SOS	Tanh	Logistic
2	MLP 60-5-1	0,920683	-0,246944	0,935712	1,700765	18,99410	1,50705	BFGS 0	SOS	Exponential	Logistic
10	MLP 60-26-1	0,913905	0,372427	0,682144	1,870395	11,60951	4,62453	BFGS 17	SOS	Exponential	Logistic
3	MLP 60-22-1	0,917292	0,649555	0,712410	1,960777	15,12348	10,40275	BFGS 0	SOS	Exponential	Logistic
1	MLP 60-24-1	0,905613	0,293349	0,702995	2,211907	13,08283	4,31549	BFGS 19	SOS	Exponential	Logistic

Рис. 7. Структуры полученных нейронных сетей в statistica

Нейронные сети с индексами 18, 8, 7 и 14 имеют наилучшие показатели тестовой ошибки (табл. 2).

Таблица 2. Нейронные сети с наименьшими показателями тестовой ошибки

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error	Test error	Validation error	Training algorithm	Error function	Hidden activation	Output activation
18	MLP 60-4-1	0,986863	0,391171	0,916380	0,270666	11,77971	3,03878	BFGS 23	SOS	Exponential	Tanh
8	MLP 60-4-1	0,961013	0,489469	0,683025	0,803652	10,96770	5,87606	BFGS 20	SOS	Exponential	Tanh
7	MLP 60-6-1	0,954910	0,744988	0,926213	0,926836	9,21083	3,10216	BFGS 27	SOS	Tanh	Tanh
14	MLP 60-13-1	0,950421	0,620836	0,870836	0,997131	9,97284	3,15005	BFGS 21	SOS	Tanh	Logistic

Диаграмма рассеяния полученных данных сетей показывает, что выходные значения сети в целом расположены в пределах полученной последовательности, что говорит о совпадении расчетных величин с целевыми значениями (рис. 8). Но некоторые значения нейронных сетей с индексом 7 и 18 сильно отклонены от пределов полученной последовательности. Поэтому нейронная сеть с индексом 14 является наиболее адекватной для получения результатов идентификации [11].

Таким образом, экспериментально полученная модель решает задачи при экспертной оценке идентификации светлых нефтепродуктов. С помощью этой модели появилась возможность определять время нахождения образца, несмотря на сложность состава, с достаточной точностью. Тип образца можно определить, построив классификационную нейронную сеть по образцам различного типа либо иным более точным способом. Повысить работоспособность сети можно, увеличив количество входных данных.

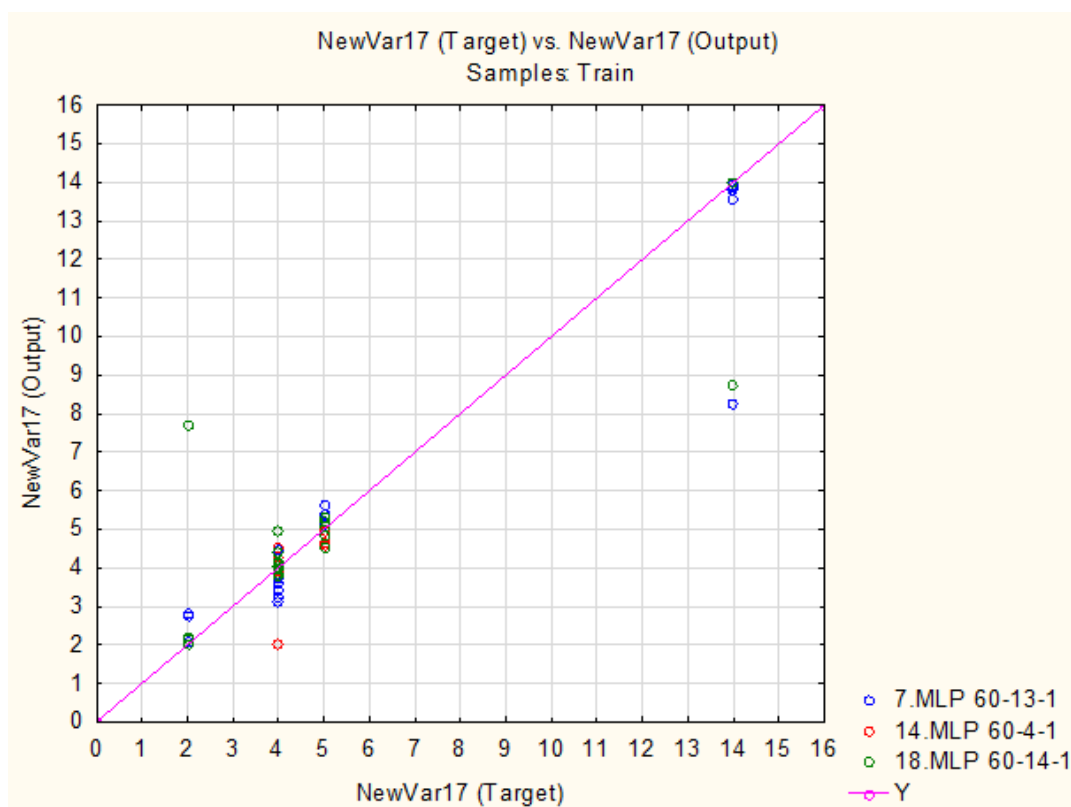


Рис. 8. Диаграмма рассеяния полученных данных

Результаты проверки работы нейронной сети представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты проверки данных нейронной сети

Факт. время образца	Значения проверки НС	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X26
14	<b>12,559</b>	2806	3564	3494	3625	4887	5527	4119	4705	5290	3010
5	<b>4,555</b>	4508	3710	3590	3477	3080	3734	3108	3177	3901	2795
2	<b>6,850</b>	3735	4114	4249	4162	5357	5931	3983	5278	5753	3514

В дальнейшем планируется проведение дополнительных исследований. В частности, планируется обработка результатов по исследованию смесей с водой, загрязнителями и красителями. Это позволит решить задачу идентификации светлых нефтепродуктов в условиях, характерных для проведения пожарно-технической экспертизы.

## **Литература**

1. Гаврилов Д.А., Гаврилова Т.С., Преображенский Н.Б. Экспресс-анализ: одним взглядом // Наука из первых рук. 2011. № 4 (40).
2. Крылов А.С., Втюрин А.Н., Герасимова Ю.В. Обработка данных инфракрасной фурье-спектроскопии: метод. пособие. Красноярск: Институт физики СО РАН, 2005.
3. Тарасевич Б.Н. Основы ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК-спектроскопии. М.: МГУ, 2012.
4. Ahmadjian M., Brown C.W. Petroleum identification by laser Raman spectroscopy // Analytical Chemistry. 1976. Т. 48. № 8. С. 1 257–1 259.
5. Винарский В.А. Хроматография. Курс лекций в двух частях. Ч. 1: Газовая хроматография. Минск: БГУ, 2002.
6. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2009.
7. Гаврилов Д.А. О проведении анализа состава воды в зоне нефтедобычи в реальном масштабе времени // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 2. С. 16–16.
8. Rand S.J. Significance of tests for petroleum products. ASTM International, 2003. Т. 1.
9. Головкин В.А., Галушкин А.И. Нейронные сети: обучение, организация и применение // Нейрокомпьютеры и их применение. 2001. Кн. 4.
10. Адаптивное построение иерархических нейросетевых классификаторов / С.А. Доленко [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2005. № 1–2. С. 4–11.
11. Speight J.G. Handbook of petroleum product analysis. John Wiley & Sons, 2015.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ В МЧС РОССИИ**

**Н.В. Каменецкая, кандидат технических наук, доцент;**

**О.М. Медведева, кандидат технических наук;**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**С.Б. Хитов.**

**Министерство обороны Российской Федерации**

Рассмотрена возможность применения метода динамического программирования при математическом моделировании процесса распределения финансовых средств, обеспечивающего наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России. Представлены этапы построения математической модели, расчетные формулы. Показан результат применения метода для заданных условий.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, математическая модель, финансовые средства, радиосвязь, радиоаппаратура, динамическое программирование

## **MODELING OF THE FINANCIAL RESOURCES DISTRIBUTION'S PROCESS IN THE INTERESTS OF EFFICIENT ORGANIZATION OF RADIO COMMUNICATION IN THE EMERCOM OF RUSSIA**

N.V. Kamenetskaya; O.M. Medvedeva.

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

S.B. Khitov. Ministry of defense of the Russian Federation

The possibility of using the dynamic programming method in mathematical modeling of the process of allocating financial resources ensuring the most efficient exchange of information

in the radio networks of EMERCOM of Russia is considered. The stages of construction of the mathematical model, calculated formulas are presented. The result of applying the method for the given conditions is shown.

*Keywords:* mathematics modeling, mathematics model, financial resources, radio networks, radio equipment, dynamic programming

В современных условиях в деятельности органов управления МЧС России, обеспечивающих эффективное применение сил и средств, ключевая роль отводится системе связи, основу которой составляет комплекс взаимоувязанных стационарных и подвижных узлов связи пунктов управления, каналов и линий связи МЧС России, а также единой сети электросвязи Российской Федерации, обеспечивающих обмен различными видами информации.

Комплексное использование всех видов связи (проводной радиосвязи (в том числе конвенциональной и транкинговой), радиорелейной и спутниковой) обеспечивает необходимую устойчивость функционирования системы связи МЧС России [1].

Радиосвязь, резервирующая в повседневной деятельности проводные каналы связи на основных направлениях передачи сообщений, при чрезвычайных ситуациях является основной для обмена информацией с оперативными группами, работающими в районах чрезвычайных ситуаций (ЧС).

В рамках совершенствования системы радиосвязи перед МЧС России стоит задача обновления и расширения парка средств радиосвязи. В настоящее время отечественными и зарубежными производителями выпускается большое количество средств радиосвязи, обладающих близкими техническими характеристиками, но значительно отличающимися по стоимости. Поэтому тема статьи, посвященная вопросам выбора средств радиосвязи, обеспечивающих эффективное функционирование системы радиосвязи в условиях ограничений на финансирование, является актуальной.

Задача распределения финансовых средств, обеспечивающих наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России, может быть решена методами математического моделирования, эффективность которого при выработке оптимальных управленческих решений в оперативной деятельности подразделений МЧС России достаточно высока [2–7].

Постановку задачи опишем следующим образом.

На оборудование средствами радиосвязи территориального органа МЧС России (Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации) выделена определенная сумма финансовых средств, равная  $S$ . Пусть имеются три варианта оснащения органов управления комплектами радиоаппаратуры, имеющих различные характеристики и стоимость. Информация поступает с некоторой интенсивностью  $\lambda_i$  сообщений в единицу времени соответственно ( $i=1, 2, 3$ ) для каждого комплекта радиоаппаратуры. Допустим, что известны средняя длительность приема сообщения каждым комплектом радиоаппаратуры. Также известна средняя стоимость одного комплекта радиоаппаратуры, равная  $c_i$  ( $i=1, 2, 3$ ).

Требуется распределить выделенную сумму финансовых средств так, чтобы обеспечить прием передаваемой информации с наибольшей эффективностью.

Оценка эффективности функционирования систем связи может проводиться как на этапе планирования, так и в процессе их развертывания, эксплуатационного обслуживания и свертывания. На этапе планирования в основном применяется вероятностный подход оценки эффективности системы связи. В ходе эксплуатации системы связи в органы управления постоянно поступает информация о состоянии системы связи и ее элементов. На основании полученной информации проводится статистическая оценка эффективности функционирования системы связи.

В качестве показателя эффективности распределения финансовых средств будем рассматривать вероятность того, что сообщения, поступающие на вход любого комплекта радиоаппаратуры, будут приняты, то есть пропускную способность радиостанций.

Математическую модель разработаем на основе метода динамического программирования (ДП).

Применение метода ДП предполагает представление планируемых действий в виде нескольких этапов, составляющих единый процесс. Управление процессом заключается в выборе на каждом этапе одного из вариантов действий [8–10].

Совокупность действий, избранных для каждого этапа, составляет вариант общей программы действий – стратегию. Метод позволяет выработать программу действий при многоэтапном планировании с обращением заданного показателя эффективности в максимум (минимум).

Метод ДП применим для нахождения оптимальной программы действий, если:

- процесс может быть интерпретирован как многошаговый процесс выбора управляющих параметров;
- процесс определен для любого числа шагов и имеет структуру, не зависящую от числа шагов;
- число параметров, характеризующих состояние процесса (системы) на каждом шаге, не зависит от числа шагов;
- процесс Марковский (то есть отсутствует последствие);
- показатель эффективности (целевая функция) обладает свойством аддитивности или мультипликативности [8].

В основе метода ДП лежит следующий принцип оптимальности: оптимальная стратегия обладает тем свойством, что, каковы бы ни были исходное состояние системы и первоначальный выбор, последующие выборы должны составлять оптимальную программу относительно состояния, полученного в результате первоначального выбора.

Если исследуемый процесс удовлетворяет всем приведенным ранее условиям, для его оптимизации методом ДП необходимо:

- определить, что является шагом процесса, а если процесс непрерывный, то произвести искусственное разбиение на шаги;
- определить параметры, характеризующие систему (вектор состояния), и пределы изменения каждого параметра;
- определить параметры управления (выбор управления), пределы изменения каждого параметра;
- определить функциональную зависимость, указывающую на правило перевода системы из состояния в состояние в зависимости от принятого управления (уравнения процесса);
- с учетом выбранного показателя эффективности (целевой функции) составить функциональное уравнение, математически выражающее принцип оптимальности. В самом общем случае для аддитивного и мультипликативного показателей эффективности эти уравнения имеют вид:

$$f_{i,N}(n_i) = \max_{0 \leq x_i \leq n_i} [M_i(x_i) + f_{i+1,N}(n_i - x_i)];$$
$$f_{i,N}(n_i) = \min_{0 \leq x_i \leq n_i} [q_i(x_i) f_{i+1,N}(n_i - x_i)],$$

где  $n_i$  – вектор состояния;  $x_i$  – вектор управления;  $f_{i,N}$  – экстремальное значение показателя эффективности при оптимальной стратегии на шагах с  $i$  до  $N$ ;  $M_i(x_i)$ ,  $q_i(x_i)$  – значение показателя эффективности на  $i$  шаге при  $x_i$  управлении.

Специфика каждой конкретной задачи сказывается на виде функционального уравнения, на форме целевой функции, числе параметров состояния и управляющих параметров.



Решение задач ДП происходит, как правило, в два этапа.

На первом этапе последовательно с помощью функционального уравнения находятся значения показателя эффективности для всех значений параметров состояния и управляющих параметров сначала для последнего шага, затем для предпоследнего и так далее для всех шагов.

На втором этапе на основании полученных оптимальных значений целевой функции последовательно, начиная с первого шага, находится максимум (минимум) показателя эффективности и соответствующие значения управляющих параметров, а также величины параметров вектора состояния для перехода к следующему шагу. Таким же образом находят величины управляющих параметров на втором, третьем и последующих шагах. Полученная совокупность значений управляющих параметров и будет стратегией, обращающей показатель эффективности в максимум (минимум).

В условиях поставленной задачи процесс распределения финансовых средств можно рассматривать как многошаговый процесс назначения. Число шагов в данном случае равно числу комплектов радиоаппаратуры  $J$ , а состояние системы к каждому шагу определяется оставшимися к данному шагу средствами  $C_j$ . Управляющим параметром является число средств, выделяемых на оборудование данного вида радиоаппаратуры  $x_j$ .

Задача заключается в распределении имеющихся финансовых средств таким образом, чтобы показатель эффективности принимал максимальное значение.

Радиоаппаратура может рассматриваться как система массового обслуживания с ограниченным ожиданием в очереди. Исходя из этого, вероятность приема сообщений  $j$  радиоаппаратурой может быть вычислена по формуле [11]:

$$P_j(x_j) = 1 - \frac{\beta_j \frac{\alpha_j^{n_j}}{n_j!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha_j^s}{\prod_{m=1}^s (n_j + m \beta_j)}}{\alpha_j \left[ \sum_{k=0}^{n_j} \frac{\alpha_j^k}{k!} + \frac{\alpha_j^{n_j}}{n_j!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha_j^s}{\prod_{m=1}^s (n_j + m \beta_j)} \right]},$$

где  $n_j = E \left[ \frac{x_j}{c_j} \right]$  – целое число комплектов радиоаппаратуры  $j$  вида, которое можно оборудовать на выделенные финансовые средства;

$$\alpha_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}; \quad \beta_j = \frac{\nu_j}{\mu_j}; \quad \mu_j = \frac{1}{\tau_j}; \quad \nu_j = \frac{1}{M[T_{ож}]},$$

где  $\lambda$  – плотность поступления заявок (сообщений) в систему;  $\nu$  – плотность «потока уходов» заявки, стоящей в очереди;  $M[T_{ож}]$  – среднее время ожидания заявки в очереди;  $\tau$  – среднее время обслуживания одной заявки;  $P_j(x_j)$  – относительная пропускная способность системы (комплект радиоаппаратуры  $j$  вида).

Относительная пропускная способность системы характеризуется вероятностью того, что заявка, попавшая в систему, будет обслужена [11].

С учетом принятых обозначений, уравнение процесса и функциональное уравнение будут иметь следующий вид:

$$c_{j+1} = c_j - x_j; \quad \sum_{j=1}^J c_j = C;$$

$$f_{j,J}(c_i) = \max_{0 \leq x_j \leq c_j} [P_j(x_j) + f_{i+1,J}(c_j - x_j)].$$

Ниже представлены расчеты для следующих условий поставленной задачи:  $C = 400$  (тыс. руб.);  $c_1 = 25$  (тыс. руб.);  $c_2 = 22$  (тыс. руб.);  $c_3 = 32$  (тыс. руб.);  $\lambda_1 = 24$  (с/ч);  $\lambda_2 = 21$  (с/ч);  $\lambda_3 = 36$  (с/ч);

Вероятности приема сообщений  $j$  комплектом радиоаппаратуры сведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные

Количество финансовых средств, тыс. руб.	Вероятность приема сообщений		
	радиоапп. 1 $P_1(x_j)$	радиоапп. 2 $P_2(x_j)$	радиоапп. 3 $P_3(x_j)$
0	0	0	0
100	0,2	0,3	0,2
200	0,3	0,4	0,215
300	0,43	0,55	0,23
400	0,55	0,6	0,26

Поставленная выше задача может быть представлена в виде модели:

$$P(C) = \sum_{k=1}^3 P_k(C_i) \rightarrow \max, \quad i = \overline{1,4};$$

$$\sum_{i=1}^4 C_i \leq 400.$$

Результаты применения метода ДП по этапам оформлены в виде табл. 2, 3.

Таблица 2. Оптимальное управление на втором этапе динамического программирования

Количество финансовых средств, тыс. руб.	Вероятность приема информации			Оптимальное управление на втором этапе
	$P_1(C_i)$	$P_2(C_i)$	$P_{12}(C_i)$	
0	0	0	0	(0,0)
100	0,2	0,3	0,3	(0,100)
200	0,3	0,4	0,5	(100,100)
300	0,43	0,55	0,6	(100,200)
400	0,55	0,6	0,73	(300,100)

**Таблица 3. Оптимальное управление на третьем этапе  
динамического программирования**

Количество финансовых средств, тыс. руб.	Вероятность приема информации			Оптимальное управление на втором этапе	Оптимальное управление на третьем этапе
	$P_{12}(C_i)$	$P_3(C_i)$	$P_{123}(C_i)$		
0	0	0	0	(0,0)	(0,0,0)
100	0,3	0,2	0,3	(0,100)	(0,100,0)
200	0,5	0,215	0,5	(100,100)	(0,100,100)
300	0,6	0,23	0,7	(100,200)	(100,100,100)
400	0,73	0,26	0,8	(300,100)	(100,200,100)

Оптимальное решение найдено на последнем этапе метода ДП. Из табл. 3 видно, что прием передаваемой информации с наибольшей эффективностью будет обеспечиваться при следующем распределении имеющихся финансовых средств:

- 100 тыс. руб. необходимо выделить на радиоаппаратуру первого вида;
- 200 тыс. руб. на радиоаппаратуру второго вида;
- 100 тыс. руб. на радиоаппаратуру третьего вида.

Максимальная вероятность приема информации при комплексном использовании рассматриваемой радиоаппаратуры и полученном оптимальном распределении имеющихся финансовых средств составит 0,8.

Таким образом, использование метода ДП позволяет решить задачу оптимального распределения финансовых средств между тремя вариантами выбора радиоаппаратуры, обеспечивающего наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России.

Подобные расчеты можно проводить и для большего числа средств связи. При этом количество шаговых управлений соответственно увеличивается. Метод ДП, основанный на принципе оптимальности Беллмана [1], может быть использован и при решении других задач оперативной деятельности подразделений МЧС России, например, при решении задачи перераспределения сил и средств при проведении различных тактических и спасательных операций в зонах ЧС [2–7, 12].

### **Литература**

1. Власов С.В. Основные принципы дальнейшего развития системы связи МЧС России в современных условиях. URL: <https://mchs.informost.ru/2015/pdf/1-1.pdf> (дата обращения: 21.11.2017).
2. Каменецкая Н.В., Кусайло Ф.А., Сиротин В.Г. Нахождение оптимальных маршрутов передвижения спасателей МЧС в зоне ЧС на основе применения теории графов // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2016. Т. 2. С. 175–176.
3. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Математическое моделирование при решении задач обоснования структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России // Науч.-аналит. журн. Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России. 2016. № 1. С. 62–67.
4. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Применение методов математического моделирования при решении задачи выявления и оценки радиационной, химической и биологической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 2 (38). С. 64–69.
5. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Математическое моделирование при планировании мероприятий на проведение взрывных работ на реках в паводковый период // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6-1. С. 22–27.

6. Применение метода последовательного анализа для моделирования процесса выработки решения в оперативной деятельности МЧС России / Н.В. Каменецкая [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 3 (39). С. 73–81.
7. Обоснование выбора эффективных тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ методом последовательного анализа / Н.В. Каменецкая [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 5. С. 5–12.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы. М.: Наука, 2009. 207 с.
9. Волгин Н.С., Махров Н.В., Юровский В.А. Исследование операций. Л.: ВМА, 1981. 605 с.
10. Динер И.Я. Исследование операций. Л.: ВМОЛУА, 1969. 606 с.
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. 11-е изд., стер. М.: КНОРУС, 2010. 664 с.
12. Калинина Е.С. Применение математических методов в задачах проектирования сложных технических систем // Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2017. С. 64–69.

## **ВЛИЯНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ БАЗОВОГО ШАССИ НА ДИНАМИКУ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОДВЕСКАХ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**К.С. Иванов, кандидат технических наук, доцент;  
А.В. Широухов, кандидат технических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается зависимость влияния примененной компоновочной схемы базового шасси специального автомобиля на значения и характер возникающих динамических нагрузок в подвесках в результате колебательных процессов, а также рекомендации по изменению элементов конструкций в целях снижения данных нагрузок.

*Ключевые слова:* компоновочная схема, виброзащитные системы, вертикальные и угловые колебания, парциальные коэффициенты частот

## **THE RANDOM SEARCH METHOD IN THE SOLUTION OF THE OPTIMIZATION PROBLEM OF SYNTHESIS OF VIBRATION ISOLATION SYSTEMS**

**K.S. Ivanov; A.V. Shirokhov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The article discusses the dependence of the impact applied to the layout scheme of the basic chassis of a special vehicle on the values and nature of the arising dynamic loads in suspensions, the result of oscillating processes, and recommendations for change element structures in order to reduce data loads.

*Keywords:* layout diagram, vibration isolation system, vertical and angular oscillations, partial coefficients of frequencies

В настоящее время при проектировании многоосных базовых шасси, предназначенных под монтаж специального оборудования, используются как базовые несколько типовых компоновочных схем. Обусловлено это существующими наработками инженерных решений при конструировании, а также отработанностью процессов производства комплектующих агрегатов (систем рулевого управления, элементов подвески, редукторов раздаточных и бортовых передач и т.д.), используемых в данных машинах. Поскольку выбор компоновочной схемы шасси ограничивается возможностью размещения на нем вышеуказанных компонентов и силовой установки, то разнообразие конструкций сводится к нескольким решениям. В данной статье не рассматриваются двух и трехосные шасси, как наиболее распространенные, и шасси с пятью и более осями из-за крайне редкого (штучного) использования. Так же следует учесть, что рассматривается шасси классической рамной конструкции, так как хребтовые и каркасные рамы и другие экзотические конструкторские решения не характерны для массового производства. Как правило, среди четырехосных шасси выделяют несколько компоновочных схем: 1-1-1-1 (рис. 1 а), 2-2 (рис. 1 б), 1-2-1 (рис. 1 в). Помимо различия компоновочных схем следует варьировать четырехосные шасси и по общей габаритной длине  $L$  – до 8 м и более.

Варианты монтируемых надстроек могут быть весьма разнообразны (от грузовых платформ до комплексов космического мониторинга и т.п.) и обуславливаются характером применения специального оборудования, смонтированного на базовом шасси. При эксплуатации подобного оборудования немаловажным аспектом становится его виброустойчивость – способность сохранять работоспособное состояние при воздействии динамических нагрузок в результате колебаний, возникающих при движении по дорогам.

Если при эксплуатации грузовых (и им подобных) версий надстроек данная характеристика является второстепенной, то при монтаже виброчувствительного оборудования встречается большое количество отказов, связанных с воздействием вибраций. Снижение количества отказов по данной причине является актуальной задачей, особенной в узкоспециализированном направлении (техника МЧС России, Министерства обороны Российской Федерации и т.п.).

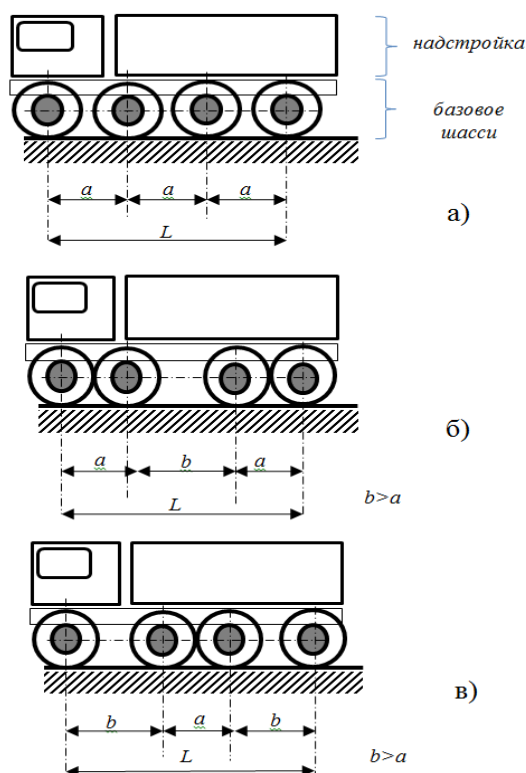


Рис. 1. Компоновочные схемы многоколесных базовых шасси

Улучшение данной характеристики оборудования возможно при применении как первичных виброзащитных систем, так и вторичных. В первичных виброзащитных системах наиболее действенным способом снизить влияние возникающих динамических нагрузок является применение подвесок шасси с большими значениями деформации по сравнению с типовыми базовыми шасси. Это приводит к увеличению коэффициентов аperiodичности и уменьшению парциальных собственных частот колебаний их подрессоренных частей [1]. Результаты исследований [2] показывают, что оптимальные динамические параметры первичных виброзащитных систем многоопорных шасси по вертикальным перемещениям  $z_0$  и продольно-угловым  $\alpha_0$  колебаниям корпуса (рис. 2) должны быть примерно равны, то есть значения парциальных коэффициентов затуханий и частот, соответственно:

$$\omega_z^* \approx \omega_\alpha^* \text{ и } h_z^* \approx h_\alpha^*,$$

где  $\omega_z^*, \omega_\alpha^*$  – парциальные коэффициенты частот линейных и угловых колебаний осей шасси;  $h_z^*, h_\alpha^*$  – парциальные коэффициенты затухания линейных и угловых колебаний осей шасси.

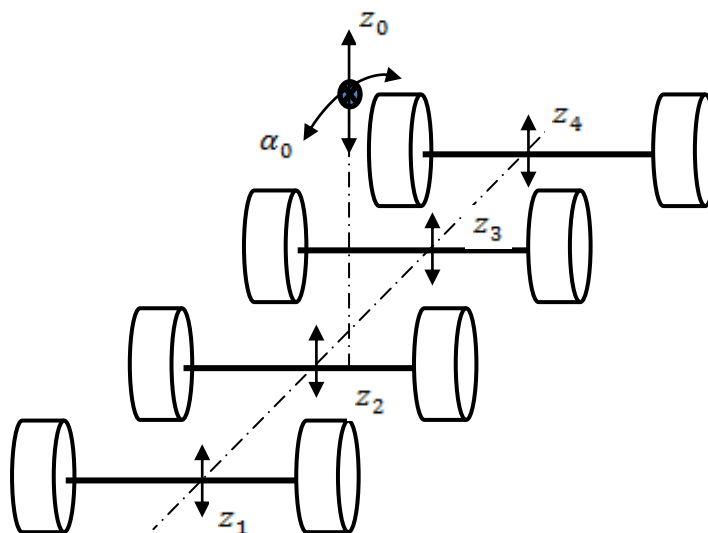


Рис. 2. Схема колебательной системы многоопорного шасси

Это объясняется тем, что частоты дорожных возмущений, действующих на агрегаты по координатам и  $\alpha_0$  близки по своим величинам. Так, для условий движения по дорогам IV или V категорий со скоростью 60 км/ч были получены следующие оптимальные характеристики первичных виброзащитных систем [3, 4]:

$$\omega_z^* \approx \omega_\alpha^* \approx 7,5 - 8,5 \text{ Гц}, h_z^* \approx h_\alpha^* \approx 2,8 - 3,5 \text{ Гц}.$$

Для выполнения этих условий необходимо увеличение жесткостей и коэффициентов неупругого сопротивления крайних подвесок по сравнению с подвесками средних мостов, что, кроме того, уменьшает вероятность «пробоев» упругих элементов крайних подвесок при интенсивных продольно-угловых колебаниях шасси. Данное требование может противоречить требованиям, предъявляемым к системам подвесок при оптимизации значений характеристик последних в ходе изменений условий эксплуатации шасси. Решение данного противоречия становится возможным при применении инвариантных систем подвесок, позволяющих

изменять жесткостные и демпфирующие характеристики подвесок мостов в зависимости от требований, обусловленных условиями эксплуатации. Применение подобных систем связано с большими затратами на проектирование и эксплуатацию, и, как следствие, ограничивает их применение. Таким образом, применение инвариантных систем подвесок становится достаточно затратным. Тем не менее применение подвесок с оптимальными характеристиками (при ограниченном спектре условий эксплуатации) и рациональном размещении агрегатов позволяет снизить степень динамических нагрузок на узлы и агрегаты шасси, тем самым повысив виброустойчивость всей конструкции в целом и смонтированного оборудования в частности.

Проведенные исследования [1] показывают, что значительное влияние на динамические нагрузки подрессоренных частей многоопорных агрегатов оказывает порядок размещения их мостов по длине базы. Причем это влияние во многом определяется основными длинами неровностей дорог, по которым движется агрегат. При сравнительно коротких длинах неровностей 1...4 м, что характерно для грунтовых дорог и в ряде случаев для булыжных шоссе, вертикальные  $\ddot{z}_0$  и продольно-угловые  $\ddot{\alpha}_0$  ускорения четырехосного шасси при длине его базы  $L=7,7$  м достигают наибольших величин в случае равномерного размещения мостов по схеме 1-1-1-1 (на примере МАЗ-543) (рис. 3 а, б). При переходе на схемы 2-2 (на примере МАЗ-7911) и особенно на 1-2-1 (на примере ЗиЛ-135) ускорения по указанным координатам снижаются. Это приводит к значительному уменьшению ускорений  $\ddot{z}_p$  (рис. 3 в).

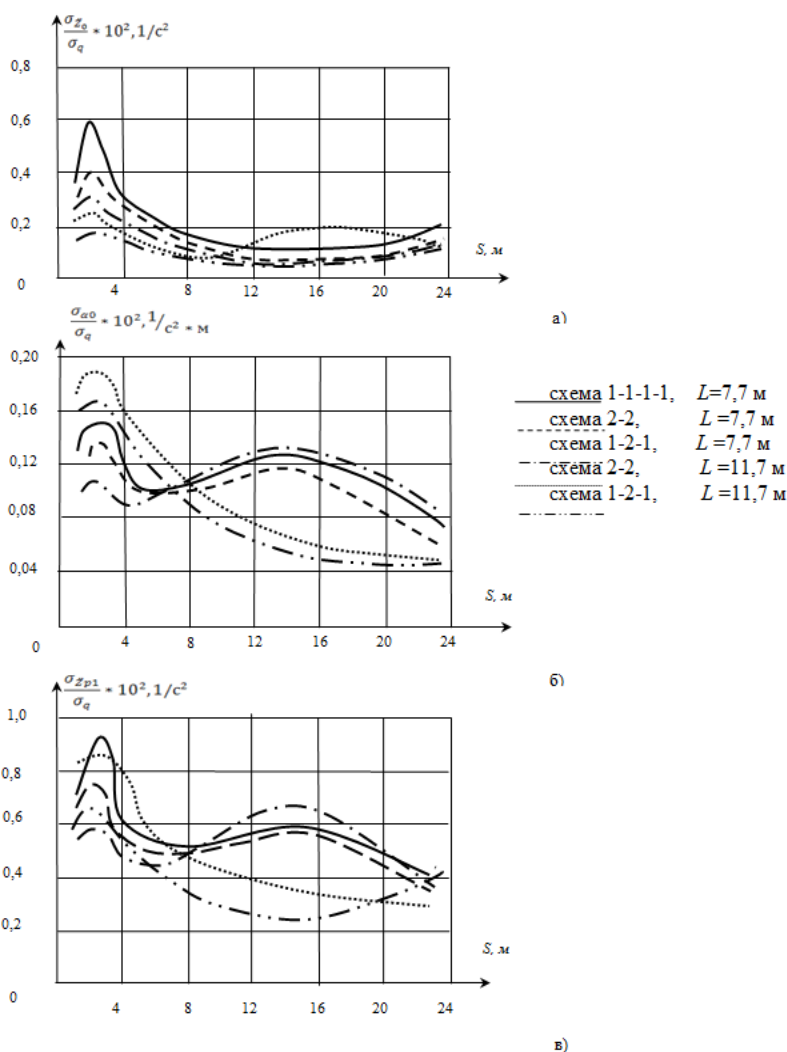


Рис. 3. Зависимости относительных средних квадратических отклонений ускорений изделий от длины основных неровностей дорог для различных схем шасси

Увеличение базы агрегата до 11,7 м вызывает увеличение угловых  $\ddot{\alpha}_0$  и уменьшение вертикальных  $\ddot{z}_0$  ускорений шасси (рис. 3 а, б). При этом сохраняются преимущества схемы 1-2-1. Для условий движения по дорогам с длинными неровностями схема размещения мостов 1-2-1 по условиям динамического нагружения элементов шасси имеет определенные преимущества перед другими схемами. Исключение составляют продольно-угловые ускорения корпуса  $\ddot{\alpha}_0$ , которые в данном случае несколько увеличиваются, что вызывает рост ускорений  $\ddot{z}_p$ . При движении по длинным неровностям увеличение базы шасси приводит к значительному уменьшению ускорений  $\ddot{\alpha}_0$  и ускорений  $\ddot{z}_p$ .

Вместе с рациональным размещением осей шасси одним из действенных мер по снижению динамических нагрузок является применение первичных виброзащитных систем с большими значениями демпфирующих характеристик. Добиться данного эффекта позволяет применение шин с меньшими показателями жесткости. Снижение жесткости шин приводит к уменьшению ускорений рамы шасси, особенно в области высоких частот [1]. В связи со сравнительно небольшими коэффициентами неупругого сопротивления шин, что особенно характерно для шин нормального профиля, уменьшение жесткости может вызвать некоторое увеличение низкочастотных ускорений подрессоренных частей шасси. Вместе с тем анализ результатов оптимизации параметров плавности хода свидетельствует о том, что использование для монтажа специального оборудования полуподвесных и бесподвесных схем колесных шасси нецелесообразно, так как шины без наличия подвесок колес не могут обеспечить оптимальную защиту от воздействия дорожного полотна.

Возникает необходимость поиска оптимального сочетания параметров первичных и вторичных виброзащитных систем, что влечет существенное снижение степени динамического воздействия на элементы шасси (рис. 4) [1].

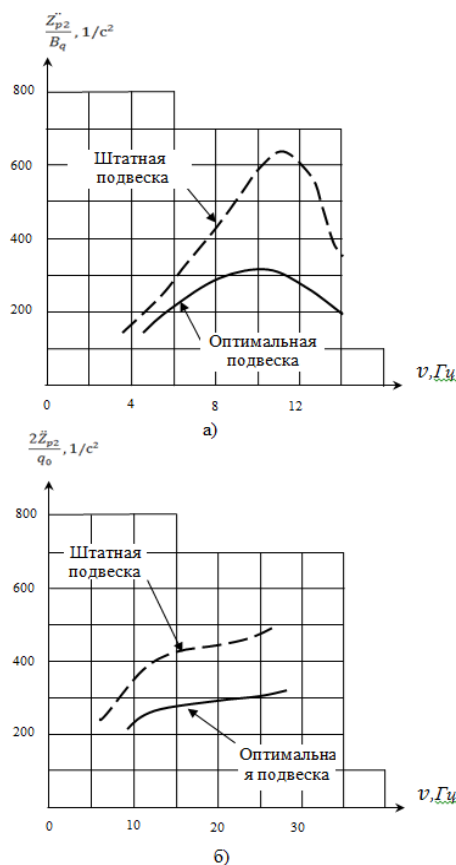


Рис. 4. Экспериментальные данные по величинам относительных ускорений с оптимальной первичной виброзащитной системой при периодических (а) и единичных (б) воздействиях



Таким образом, анализ показывает, что, поскольку основные типы дорог имеют неровности сравнительно небольшой длины, то с точки зрения уменьшения динамической нагруженности элементов шасси и надстройки при их движении по дорогам схема размещения мостов базовых шасси 1-2-1 является наиболее целесообразной. Так же на базовых шасси, предназначенных для монтажа спецоборудования, целесообразно использовать широкопрофильные или арочные шины соответствующей грузоподъемности с возможно меньшей жесткостью и повышенными демпфирующими качествами.

### **Литература**

1. Широухов А.В. Методика синтеза оптимальных систем защиты узлов и агрегатов пожарно-спасательных автомобилей от динамических перегрузок: дис. ... канд. наук. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 164 с.
2. Широухов А.В. Пути совершенствования конструкций элементов подвесок базовых шасси пожарно-спасательных автомобилей // Природные и техногенные риски (физико-математические прикладные аспекты). 2015. № 3. 78 с.
3. Афанасьев В.А., Васильев В.С., Ачатуров А.А. Спектральные характеристики поверхностей некоторых участков дорог. М., 1972. С. 120–183.
4. Проектирование полноприводных колесных машин: учеб. / под общ. ред. А.А. Полунгяна: в 2-х т. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. Т. 2. 640 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЙ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

**А.А. Боева;**

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

**Г.Л. Шидловский, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлено исследование огнезащитных вспучивающихся композиций методом атомно-силовой микроскопии, модифицированных в условиях электрофизической и реагентной модификации.

*Ключевые слова:* огнезащитное вспучивающееся покрытие, атомно-силовая микроскопия, адгезия, переменный частотно-модулированный потенциал

## **INVESTIGATION OF COMPONENTS OF MODIFIED FIRE-PROTECTIVE RECOVERY COMPOSITION BY THE ATOM-FORCE MICROSCOPY METHOD**

A.A. Boyeva; A.V. Ivanov; G.L. Shidlovsky.

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

In this paper, a study is made of flame retardant intumescent compositions by atomic-force microscopy, modified under conditions of electrophysical and reagent modification.

*Keywords:* flame-retardant swelling coating, atom-force microscopy, adhesion, variable frequency-modulated potential

В условиях термического воздействия потоков горячих газов, при пиролизе, химическом и механическом уносе массы обугленного слоя сложно сохранить огнезащитное покрытие на поверхности защищаемого материала. Решение проблемы стабильности пенококса при термическом воздействии связано, главным образом, с защитой от нагревания металлических поверхностей, поскольку, исходя из любой из известных теорий адгезии, нагретые до определенных температур металлы не способны проявлять характерные для них исходные физико-химические свойства, изначальное проявление которых определяет те или иные величины адгезионных параметров. Очень важно продлить время сохранности карбонизированного слоя теплоизолирующего субстрата на максимально возможный срок, для чего пенококсу необходимо придать достаточную прочность (устойчивость к действию воздушного газовых потоков, неизбежных при пожаре) [1].

Модификация полимеров и лакокрасочных покрытий наноструктурами позволяет получать материалы с улучшенными технологическими, адгезионными и физико-механическими характеристиками [2].

Реагентная модификация (депонирование многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT) в полимерные материалы значительно увеличивает их трещиностойкость, значения деформации разрушения [3], прочности при изгибе, модуля упругости [4], изменяет адгезионные характеристики полимерного покрытия в процессе формирования слоя огнезащитных вспучивающихся композиций (ОВК) [2]. От того, насколько хорошо смачивает ОВК подложку и растекается по ней, во многом зависят адгезионная прочность и защитная способность покрытий [5].

Целью настоящего исследования было установление зависимости распределения размера капель в распыле модифицированного ОВК от параметров распыла и концентраций наноконпонентов в полимерном материале.

Модификация огнезащитного состава проводилась с помощью депонирования функционализированных MWCNT [6] в растворитель (ксилол), основой для модифицированного огнезащитного состава применялась ОВК для стальных конструкций «Термобарьер», выпускаемая по ТУ 2313-001-30642285–2011. Были получены образцы ОВК с MWCNT в краске и грунте. Также отдельные компоненты ОВК подвергались электрофизическому воздействию с параметрами переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) 56 В, 50 Гц.

В работе [7] приведены результаты исследования адгезионной прочности модифицированных ОВК по ГОСТ 32299–2013. Для каждого образца проводилось не менее трех испытаний. Полученные данные в целом свидетельствуют об увеличении адгезионной прочности до 20 % модифицированных образцов ОВК, что обеспечивает высокую устойчивость покрытия.

На рис. 1 представлена зависимость времени начала интенсивного роста температуры металла от адгезионной прочности покрытия. Можно отметить, что при увеличении адгезионной прочности модифицированных ОВК происходит более медленное разрушение защитного слоя, что приводит к более медленному росту температуры. Кроме того, некоторая зависимость максимальной температуры металла в течение периода испытания от адгезионной прочности уменьшает адгезионную прочность модифицированных ОВК на 10–20 % при концентрации MWCNT в огнезащитном составе от 0 до 0,5 об. %, при увеличении концентрации до 1,25 об. % адгезионная прочность модифицированных ОВК в несколько раз выше по сравнению с базовым составом ОВК.

При электрофизическом воздействии (ПЧМП) модифицированное ОВК имеет улучшенные эксплуатационные характеристики на технологических стадиях подготовки, формирования полимерного покрытия, наблюдается изменение значений давления насыщенного пара и поверхностного натяжения компонентов растворителя; при этом происходит переориентация углеродных наночастиц в структуре полимеров, снижается агрегация наночастиц в окрашиваемом слое.

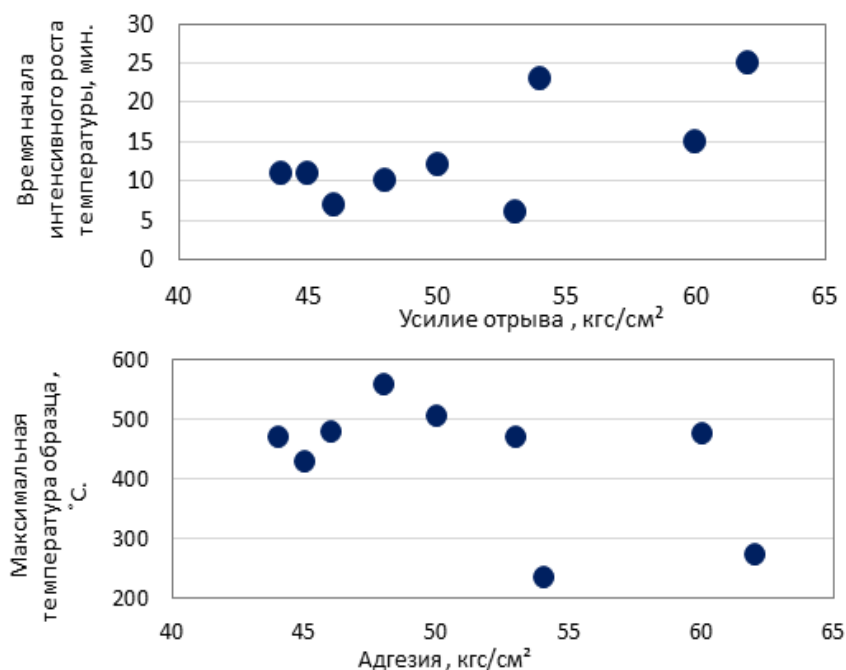


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры металла на 25 мин воздействия пламени от адгезионной прочности ОБК

Напряженность электрического поля при нанесении огнезащитного состава измерялась электростатическим вольтметром «SF 156» на расстоянии 50 мм от поверхности. Полученные результаты свидетельствуют о снижении электризации при распыле модифицированного состава с MWCNT в условиях электрофизического воздействия (рис. 2).

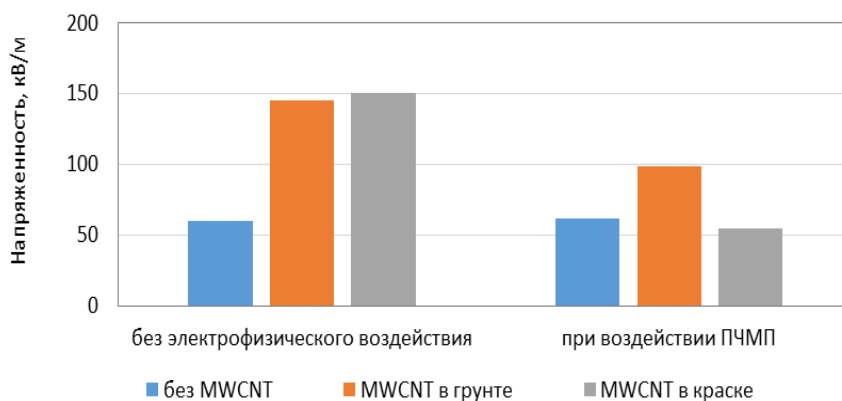


Рис. 2. Напряженность электрического поля при нанесении состава:  
1 – ОБК; 2 – модифицированного MWCNT (1,0 об. %) грунта;  
3 – модифицированного ОБК MWCNT

Исследование зависимости размера капель ОБК от условий параметров нанесения и модификации проводилось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на установке NTEGRA-SPECTRA с помощью сканирующего зондового микроскопа высокого разрешения. Метод АСМ основан на регистрации силового взаимодействия иглы кантиливера (зонда) с поверхностью исследуемого образца, что позволяет получать изображения высокого разрешения безотносительно к физико-химическим свойствам материала поверхности [8].

В основе работы АСМ лежит использование различных видов силового взаимодействия зонда с поверхностью. На больших расстояниях между острием и образцом действуют силы притяжения, на малых – из-за электростатического взаимодействия электронных облаков атомов – силы отталкивания (рис. 3). Эти силы уравниваются при расстоянии порядка двух ангстрем [8].

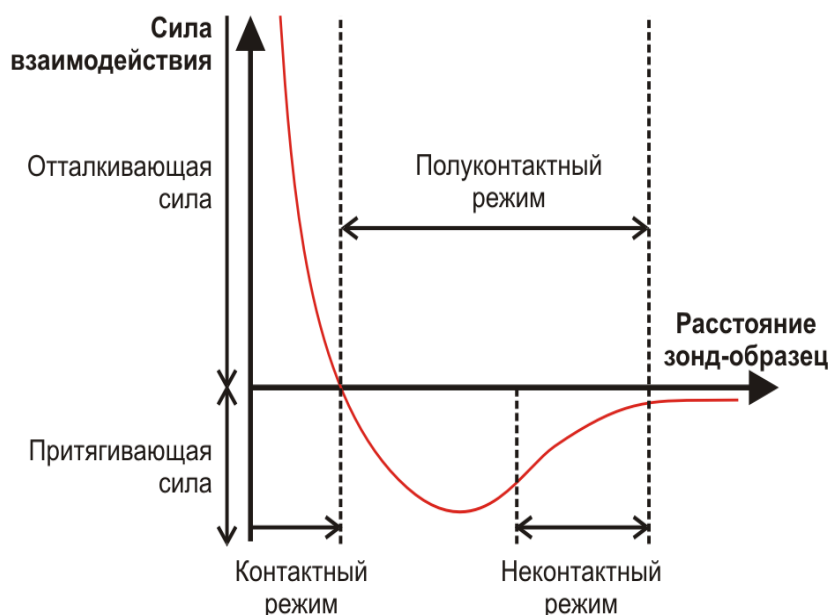


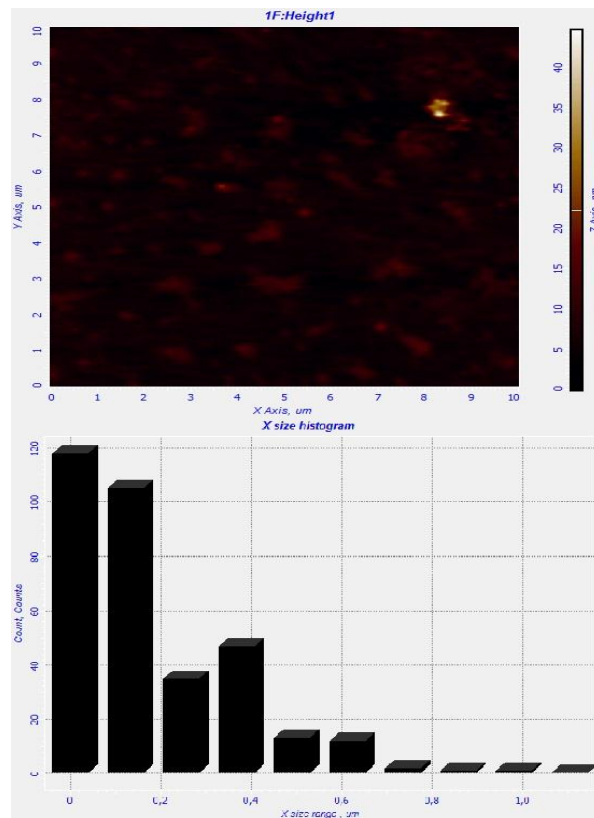
Рис. 3. Зависимость силы взаимодействия острия зонда и образца от расстояния и основные режимы работы

В ходе исследования полученные образцы ОВК (немодифицированные ОВК, модифицированные ОВК с концентрацией MWCNT 1,0 об. %; модифицированный грунт – ГФ-021 с концентрацией MWCNT 1,0 об. %), распылялись на предметные стекла, обладающие наименьшей кривизной среди подложек в своем классе. Далее проводилось исследование модифицированных поверхностей [9].

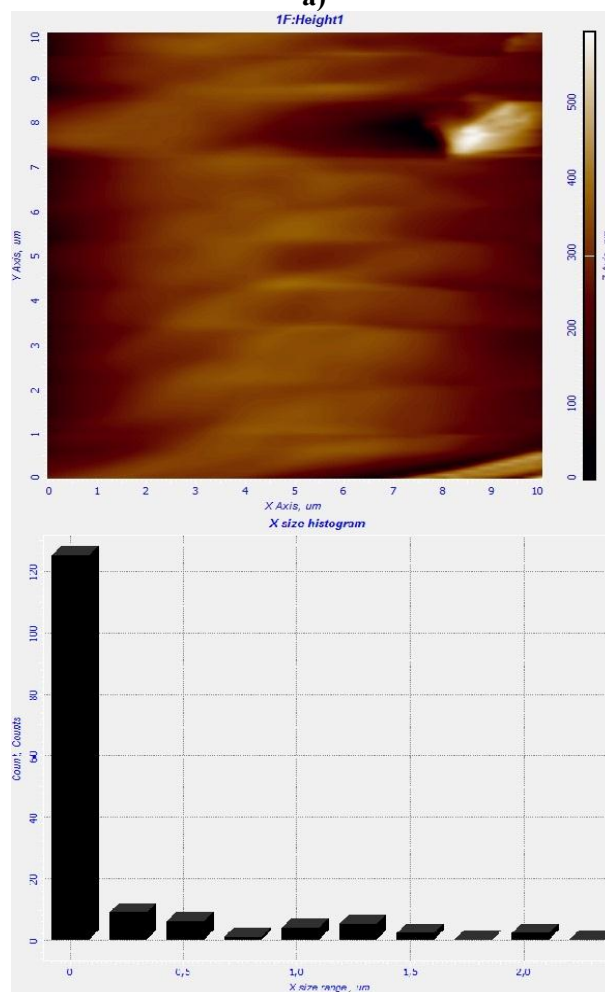
На данной подложке из этого материала можно наиболее четко увидеть результаты нанесения ультрадисперсных частиц [10]. Результаты исследования модифицированных ОВК методом АСМ представлены на рис. 4–6, где показана топография подложек с ОВК и гистограмм с распределением по размерам капельной фазы.

Представлены результаты АСМ и гистограмма распределения размеров распыленных частиц ОВК. При распыле ОВК без электрофизического воздействия наблюдаются локальные вкрапления частиц полимера, преимущественно размерами (0,1...0,6 мкм) на подложке, при электрофизическом воздействии размер объектов исследования на подложке составляет (0,1...0,3 мкм). Полученные данные свидетельствуют, что для образца (рис. 4 б), полученного при электрофизическом воздействии, характерно образование большого количества капель с меньшим линейным размером по сравнению с контрольным образцом (рис. 4 а).

На рис. 5 представлены результаты АСМ и гистограмма распределения размера частиц ОВК с концентрацией MWCNT 1,0 об. %. При распыле модифицированного ОВК MWCNT (1,0 об. %) без воздействия ПЧМП размер капель составляет 0,1...0,5 мкм, а при электрофизическом воздействии наблюдаются капли с размерами порядка 0,1...0,2 мкм. Можно сказать, что без электрофизического воздействия наблюдается большее количество капель сферической формы при больших линейных размерах (рис. 5 а), по сравнению с меньшими каплями образца, полученными при электрофизическом воздействии (рис. 5 б).

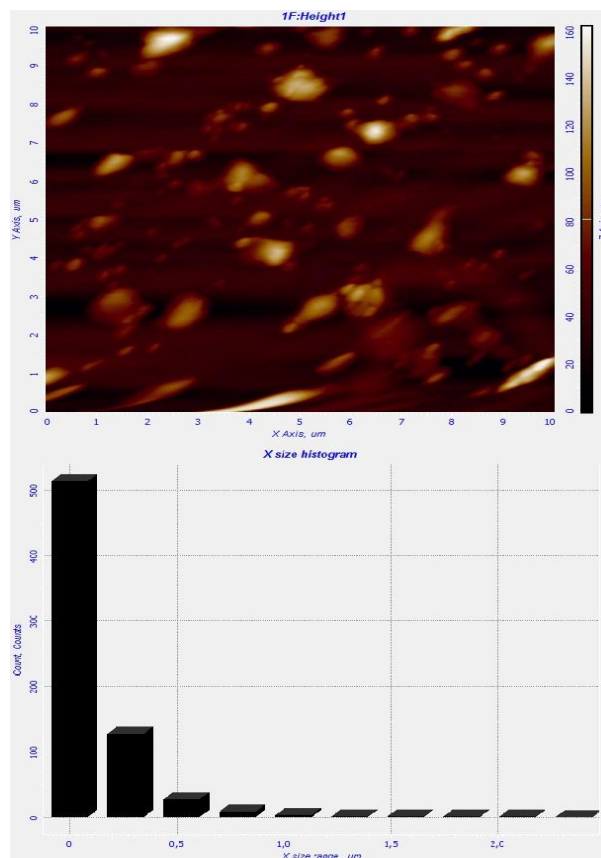


a)

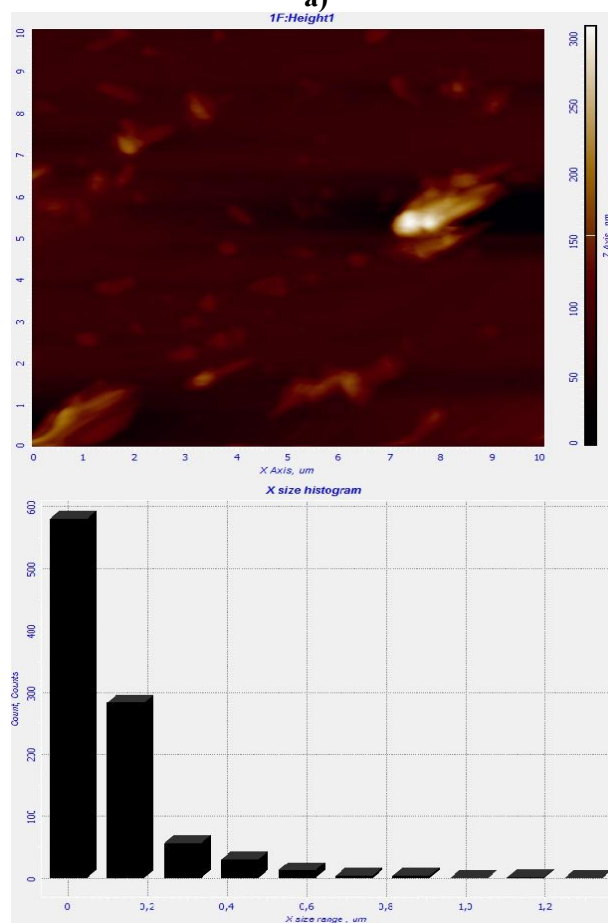


б)

Рис. 4. Результаты АСМ и распределение распыла частиц ОВК на подложке:  
а) без воздействия ПЧМП; б) при воздействии ПЧМП

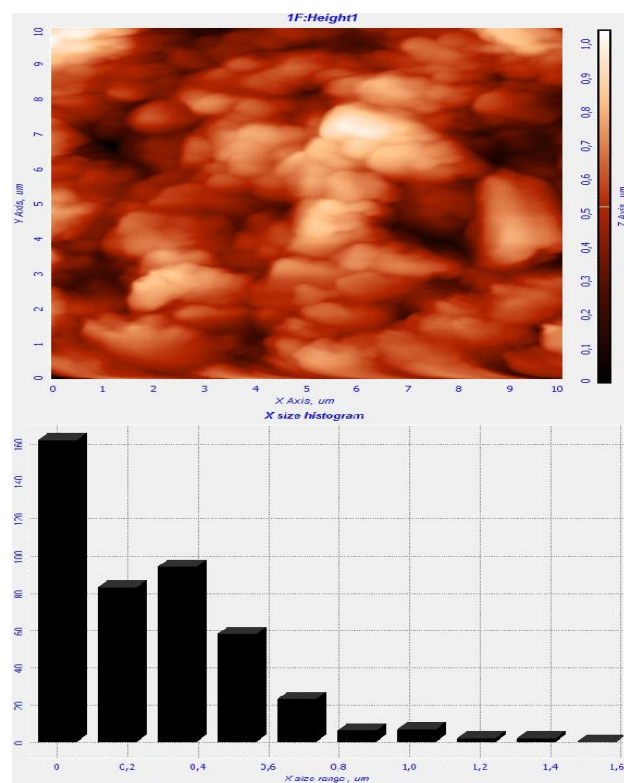


a)

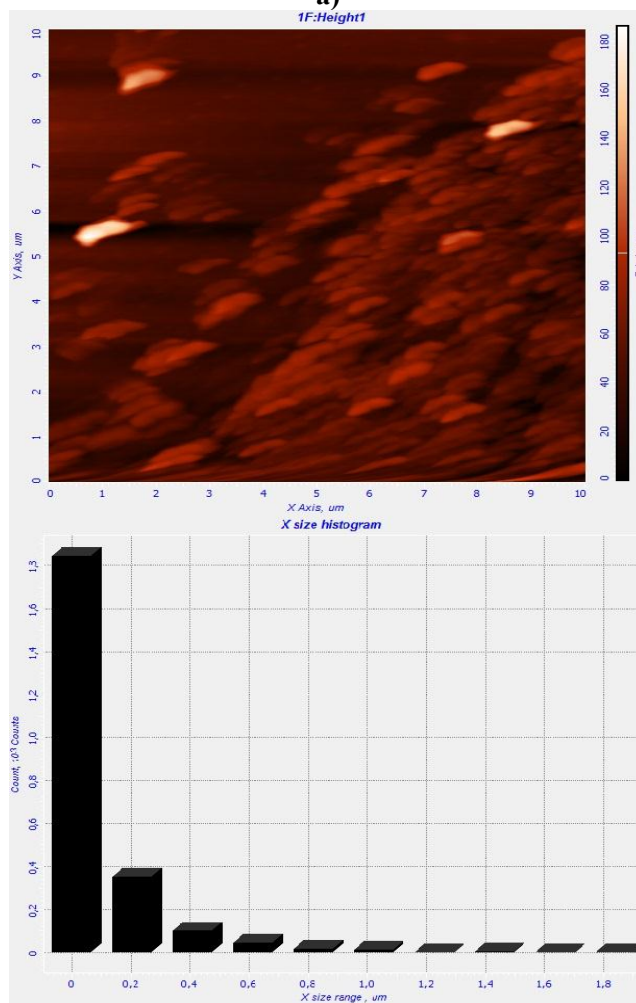


б)

Рис. 5. Результаты АСМ и распределение распыла частиц модифицированного ОБК MWCNT (1,0 об. %): а) без воздействия ПЧМП; б) при воздействии ПЧМП



a)



b)

Рис. 6. Результаты АСМ и распределение распыла частиц модифицированного грунта ГФ-021 с концентрацией MWCNT (1,0 об. %):  
а) без воздействия ПЧМП; б) при воздействии ПЧМП



На рис. 6. представлены результаты АСМ и гистограмма распределение размера частиц модифицированного грунта ГФ-021 с концентрацией MWCNT 1,0 об. %. При распыле модифицированного грунта MWCNT (1,0 об. %) без электрофизического воздействия наблюдаются вкрапления частиц полимера, с преимущественными размерами 0,1...0,8 мкм на подложке. Формируемые капли при электрофизическом воздействии имеют меньшие размеры (около 0,1...0,4 мкм). Также для капель, полученных при воздействии ПЧМП, характерна вытянутая форма, причем капли ориентированы в одном направлении относительно друг друга.

Таким образом, применение ПЧМП в качестве безреагентного способа стабилизации наночастиц в растворителе позволяет снизить электризацию процессов окраски гидравлическим способом. Исследование методом АСМ показало, что при электрофизическом воздействии уменьшается размер капель при распыле, что обеспечивает равномерное распределение модифицированного состава и позволяет улучшить адгезионные и прочностные характеристики ОВК [5]. Это позволяет сделать вывод о возможности создания технологии получения и нанесения модифицированных ОВК для повышения эффективности огнезащиты на объектах нефтегазового комплекса в условиях углеводородного горения.

### Литература

1. Зыбина О.А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2015. 260 с.
2. Новые грунтовочные лакокрасочные материалы, содержащие углеродные нанотрубки / А.В. Николайчик [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2010. Т. 1. № 4.
3. Effect of loading and surface modification of MWCNTs on the fracture behavior of epoxy nanocomposites / S. Ganguli [et al.] // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2006. Т. 25. № 2. С. 175–188.
4. Использование углеродных нанотрубок для увеличения теплостойкости эпоксидных связующих / С.В. Кондрашов [и др.] // Перспективные материалы. 2013. № 2. С. 17–23.
5. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учеб. пособие для вузов. 4-е изд., исп. СПб.: Химиздат, 2010. 448 с.
6. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Медведева Л.В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 26. № 9. С. 30–37.
7. Боева А.А., Пророк В.Я., Трофимец В.Я. Исследование эксплуатационных характеристик модифицированных вспучивающихся огнезащитных составов в условиях горения углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 2 (42). С. 96–103.
8. Специальные методы измерения физических величин: учеб. пособие / А.В. Федоров [и др.]. СПб.: НИУ ИТМО, 2014. 127 с.
9. Формирование капельной фазы при воздействии мощного ионного пучка на структуру «тонкая металлическая пленка диэлектрическая подложка» / В.С. Ковивчак [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 7. С. 95–97.
10. Герасимов М.А. Математическая обработка результатов сканирования поверхности. СПб.: СПбГЭТУ УНЛ «Импульсные электротехнологии», 2016. С. 80.





---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

## СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ В ВУЗАХ МЧС РОССИИ

**Т.А. Кузьмина, кандидат педагогических наук;  
А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Показана необходимость формирования профессиональных компетенций при проведении практических занятий. Проанализированы возможности различных носителей учебной информации с точки зрения удобства пользования, доступности, требований к аудитории, вариативности, адаптивности к особенностям обучающихся, подключения к внешним источникам информации. Представлена возможная структура электронного учебного пособия, выполненного с использованием гипертекстовых технологий. Рассмотрены результаты педагогических наблюдений по использованию современных информационно-коммуникационных технологий на практических занятиях.

*Ключевые слова:* профессиональные компетенции, практическое занятие, компетентностно-ориентированные индивидуальные расчетные задания, учебно-методический комплекс, электронное учебное пособие, гипертекстовые технологии, педагогические наблюдения

## STRUCTURE OF INFORMATION SUPPORT OF THE PRACTICAL TRAINING IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS OF EMERCOM OF RUSSIA

T.A. Kuzmina; A.A. Kuzmin.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Need of formation of professional competences when carrying out a practical training is shown. Possibilities of various carriers of educational information from the point of view of convenience of use, availability, requirements to audience, variability, adaptability to features of students, connections to external sources of information are analysed. The possible structure of the electronic manual executed with use of hypertext technologies is presented. Results of pedagogical observations on use of modern information and communication technologies on a practical training are considered.

*Keywords:* professional competences, practical occupation, competence-based focused individual settlement tasks, educational and methodical complex, electronic manual, hypertext technologies, pedagogical observations

Будущие специалисты федеральной противопожарной службы (ФПС) при обучении в пожарно-технических вузах в соответствии со стандартом [1] должны овладеть необходимыми для выполнения своих служебных обязанностей профессиональными компетенциями (ПК), такими как:

- ОК-1, которая предполагает у специалиста необходимое абстрактное мышление, а также наличие способности к синтезу и анализу;

- ОПК-1, которая предусматривает способность специалистом решать задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий при учете необходимых требований к информационной безопасности;

- ПК-4, которая требует от специалиста способности использовать методы расчета основополагающих параметров систем и технологических процессов в обеспечении пожарной безопасности;

- ПК-40, наличие которой у специалиста говорит о его способности к систематическому изучению научно-технической информации, содержащей отечественный и зарубежный опыт в обеспечении пожарной безопасности.

Вышеперечисленные ПК формируются, в том числе, и дисциплинами естественно-научного и общетехнического циклов при проведении практических занятий (ПЗ) в ходе решения практических задач, а также выполнения компетентностно-ориентированных индивидуальных расчетных заданий (КО ИРЗ). Содержание КО ИРЗ обуславливает необходимость формирования у обучающегося новых ПК или переход на следующий, более высокий уровень уже сформированной ПК.

Организация эффективного учебного процесса предполагает наличие у обучающихся как в аудиторный, так и во внеаудиторный период необходимых учебно-методических материалов, базовой составляющей которых является информационная компонента. Объем представленной информации, форма и технические возможности ее представления обучающимся в значительной степени определяют эффективность формирования новых ПК [2]. В свою очередь, вид носителей учебной информации определяет как объем представленной информации, так и ее доступность. Первичным в определении параметров информационной поддержки практического занятия является его педагогическая модель [3]. Один из вариантов такой модели практического занятия по дисциплинам общетехнического цикла применительно к особенностям учебного процесса в пожарно-технических вузах представлен на рис. 1.

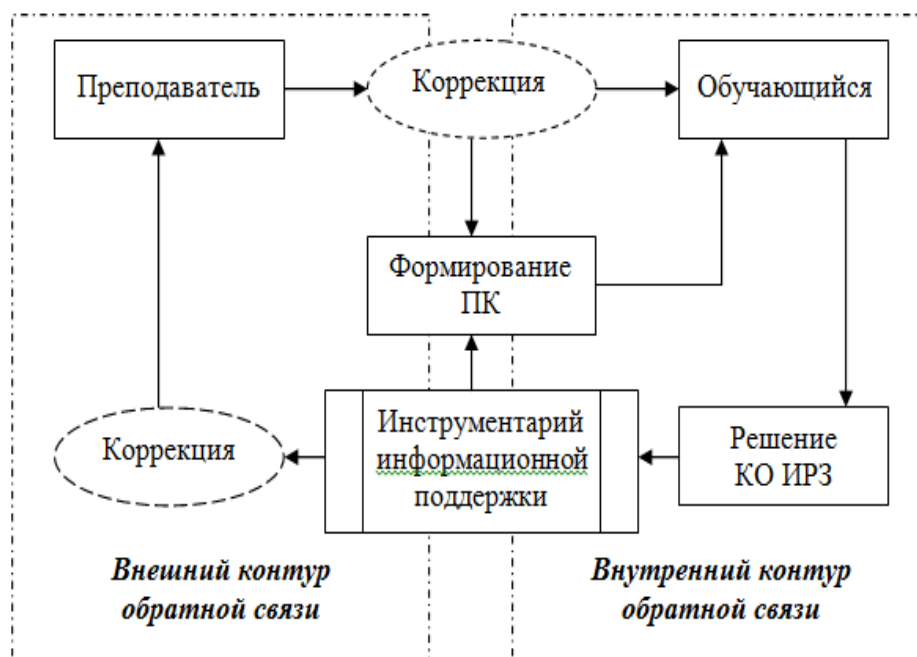


Рис. 1. Педагогическая модель формирования ПК на ПЗ в процессе выполнения КО ИРЗ

Центром предлагаемой педагогической модели является процесс самостоятельного выполнения КО ИРЗ обучающимся, в ходе которого и происходит формирование ПК, однако для повышения эффективности этого процесса, кроме обеспечения индивидуальности предлагаемых КО ИРЗ и выдачи необходимого справочного материала, необходимо организовать информационную поддержку:

- самоконтроля обучающимся промежуточных результатов в формировании ПК (внутренний контур обратной связи);
- окончательного контроля результатов формирования ПК преподавателем (внешний контур обратной связи).

Поставленные задачи предопределяют требования в возможной структуре информационного обеспечения процесса формирования ПК на ПЗ в ходе выполнения КО ИРЗ, представленной на рис. 2.

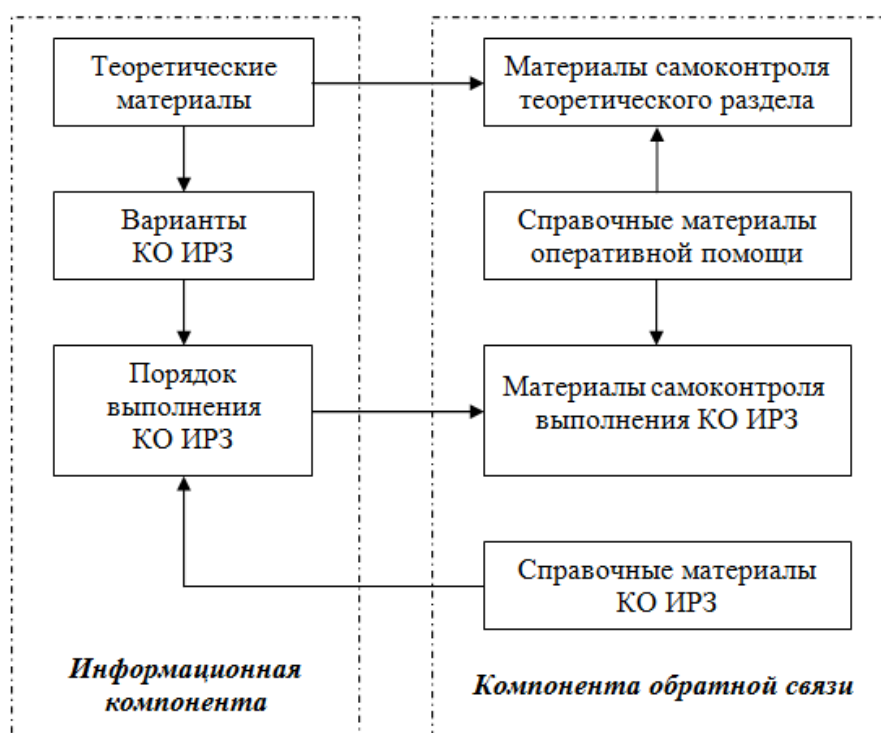


Рис. 2. Структура информационного обеспечения выполнения КО ИРЗ при проведении ПЗ

Собственно функцию информационной поддержки в узком смысле традиционные формы носителей в виде «бумажного» учебного пособия выполняют вполне удовлетворительно, за исключением преодоления неизбежно возникающих технико-экономических проблем при возможном обновлении учебного материала.

С информационно-методической поддержкой процедуры самоконтроля обучающимся все обстоит значительно сложнее. Определенным паллиативом является введение в теоретические материалы достаточного количества контрольных вопросов, пересекающихся в своей номенклатуре с вопросами итогового теста. И, если следует об этом предупреждение преподавателя, то педагогические наблюдения дают основания полагать, что этот педагогический прием достаточно эффективен, хотя работает он с некоторым лагом. Если проблема самоконтроля усвоения теоретического раздела может быть решена переходом к обучающим программам – линейным по Б. Скиннеру либо разветвленным по Ч. Кроудеру, то поддержать процедуру самоконтроля выполнения КО ИРЗ применением традиционных носителей информации осуществить сложно [4].

Поэтому требования к организации современного компетентностно-ориентированного учебного процесса неизбежно приводят к необходимости перехода в технических вузах

от традиционных (бумажных) на электронные носители информации в поддержке самостоятельного выполнения обучающимися КО ИРЗ.

Прежде всего, необходимо определиться в преимущественном способе хранения и представления учебной информации:

- не связанные сетью персональные компьютеры, расположенные в специализированной учебной аудитории;

- локальная сеть персональных компьютеров в специализированной учебной аудитории с возможностью беспроводного подключения, в том числе через мобильные устройства других пользователей или без таковой;

- кафедральная локальная сеть, объединяющая персональные компьютеры нескольких учебных аудиторий с возможностью беспроводного подключения, в том числе через мобильные устройства других пользователей или без таковой;

- университетская локальная сеть, объединяющая локальные сети нескольких кафедр с возможностью беспроводного подключения, в том числе через мобильные устройства или без таковой;

- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет с возможностью беспроводного подключения в том числе через мобильные устройства бесплатно для пользователей.

Принятие решения о преимущественном способе хранения и представления учебной информации позволит определиться с форматом информационных файлов с возможными расширениями, в частности: \*.doc (\*docx, \*.rtf и др.), \*.xls (\*xlsx и др.), \*.pdf, \*.ppt (\*.pptx и др.), а отсюда будут вытекать и требования к аппаратным возможностям персональных компьютеров [5].

После определения преимущественного способа хранения и представления учебной информации возникают предпосылки последовательного решения целого ряда проблем организационно-технического и методического характера:

- оценка эффективности использования в учебном процессе существующих учебно-методических материалов на новых носителях, определение объема необходимой коррекции;

- выявление оптимального соотношения в использовании традиционных (бумажных) и электронных носителей в информационном обеспечении процесса завершения выполнения КО ИРЗ обучающимися во внеаудиторный период;

- преодоление стереотипов в организации учебного процесса в части существующих запретов использования обучающимися личных гаджетов (ноутбуков, планшетов, смартфонов и пр.) при проведении плановых занятий в учебных аудиториях;

- нахождение путей преодоления проблем, связанных с проведением занятий в неспециализированных аудиториях, в которых отсутствует необходимое для проведения данного ПЗ программное и/или аппаратное обеспечение.

Вышеперечисленные обстоятельства требуют поиска нелинейных, комплексных решений в информационном обеспечении в проведении ПЗ с вычленением основных функций программно-аппаратного обеспечения:

- создание управляющей оболочки, позволяющей обучающемуся легко переходить к тем или иным компонентам информационного обеспечения;

- формирование основного «тела» электронного документа, обеспечивающего информационную поддержку процесса формирования ПК при выполнении обучающимся КО ИРЗ в аудиторный период;

- согласование содержания электронной версии, предназначенной для работы обучающегося в аудитории на плановом занятии с существующими традиционными (бумажными) средствами информационной поддержки внеаудиторной самостоятельной работы по завершению выполнения КО ИРЗ и/или создание новых, основанных на применении современных информационно-коммуникационных технологий.

Наиболее жизненными представляются две схемы:

– управляющая оболочка формата \*.ppt (\*.pptx и др.), информационный компонент аудиторного периода выполнения КО ИРЗ формата \*.pdf, внеаудиторная поддержка осуществляется при помощи традиционных средств (полиформатная схема);

– все компоненты информационной поддержки выполняются в одном формате, например, ASP или PHP с использованием гипертекстовой разметки html и управляются посредством браузера (моноформатная схема).

Интерфейс управляющей оболочки формата \*.ppt представлен на рис. 3.



Рис. 3. Интерфейс управляющей оболочки информационного комплекса поддержки выполнения КО ИРЗ

Преимущества использования полиформатной схемы в информационном обеспечении процесса формирования ПК состоят в:

– возможности одновременной работы обучающегося с информационными материалами различных, ставших уже традиционными, форматов \*.ppt, \*.djvu, \*.pdf, то есть поддерживается обращение к сторонним методическим материалам (например к монографиям, учебникам, учебным пособиям, изданным в других учебных заведениях);

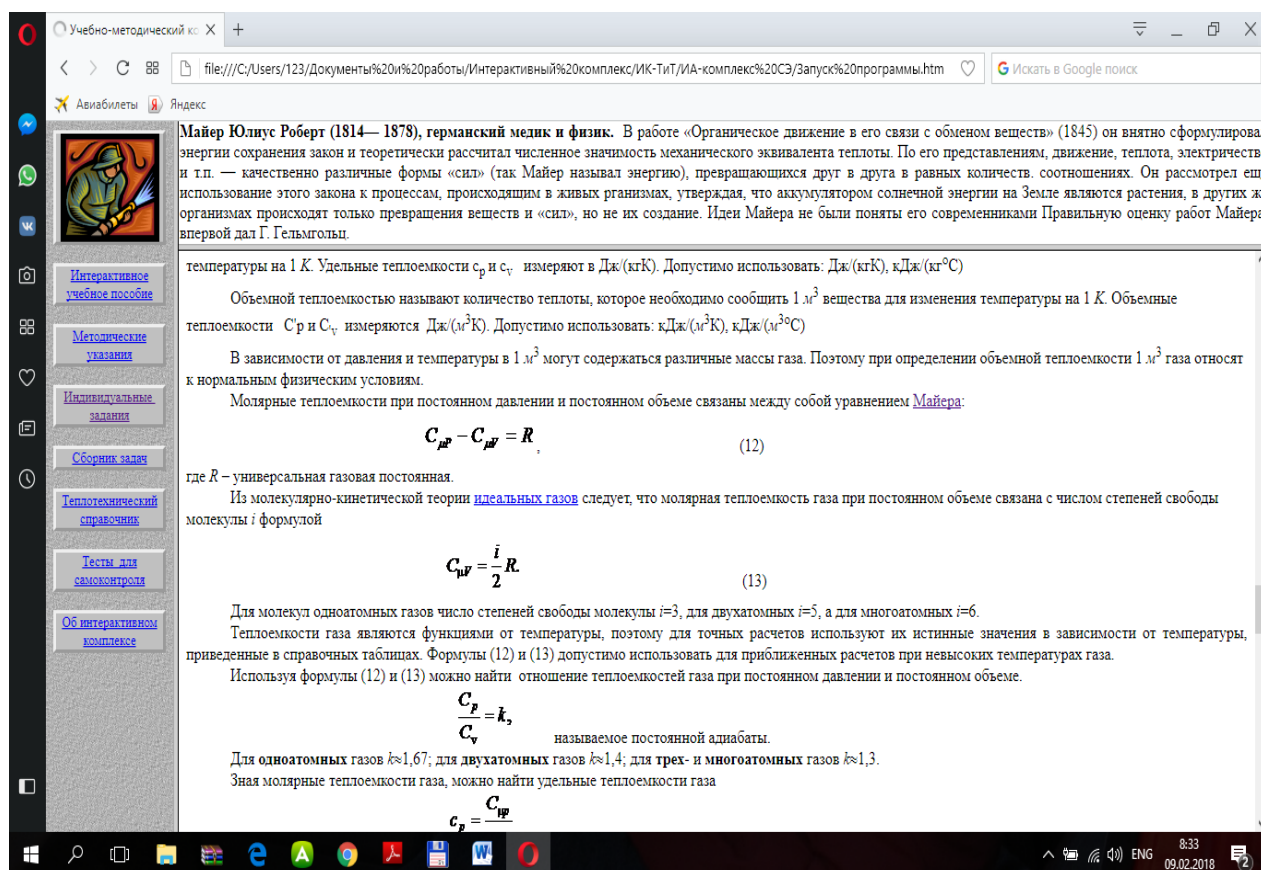
– относительно низкой трудоемкости при переформатировании подготовленных к изданию материалов формата \*.doc в другие форматы с их последующим использованием под управлением специальной оболочки и, как следствие этого, информационной согласованности материалов для аудиторной работы и внеаудиторной самостоятельной работы;

– отсутствие технических проблем в использовании специализированных программных продуктов (например, электронной таблицы Excel, математических пакетов MathCad или Elcut) при проведении вычислений в ходе выполнения КО ИРЗ.

Однако педагогические наблюдения в ходе проведения практических занятий по дисциплинам теплотехнического и электротехнического направлений, а также многочисленные беседы с обучающимися позволили выявить следующие проблемы в использовании полиформатной схемы построения информационных материалов в обеспечении формирования ПК на практических занятиях при выполнении КО ИРЗ:

– технические сложности в организации контекстной помощи обучающемуся при его затруднениях в выполнении КО ИРЗ, обеспечивающей внутренний контур обратной связи, особенно актуальной во внеаудиторный период.

Решение вышеперечисленных проблем может лежать в русле перехода к моноформатной схеме информационного обеспечения обучающихся на ПЗ. В этом случае на базе использования гипертекстовых технологий возможно формирование виртуального учебно-методического комплекса (УМК). При помощи такого УМК можно обеспечить информационную поддержку как аудиторного, так и внеаудиторного этапов выполнения обучающимися КО ИРЗ и формирования у них новых ПК. Интерфейс виртуального УМК «Теплотехника» формата \*.html представлен на рис. 4.



**Рис. 4. Интерфейс виртуального УМК «Теплотехника» поддержки выполнения КО ИРЗ**

Виртуальный УМК «Теплотехника» формата \*.html требует предварительной загрузки какого-либо браузера и выполнен с использованием достаточно распространенного инструмента MS FrontPage 11.8339.8405-SP3 [6].

Интерфейс управляющей оболочки виртуального УМК «Теплотехника» выполнен в трехоконном формате, при этом наибольшую площадь имеет центральное (информационное) окно, в которое выводится текущая информация в гипертекстовом исполнении, которая может содержать интерактивное учебное пособие «Термодинамика и теплопередача», методические указания по изучению курса, набор КО ИРЗ, сборник



практических задач, теплотехнический справочник, тесты самоконтроля. Впрочем, тесты самоконтроля выполнены в формате \*xls, так что моноформатность виртуального УМК «Теплотехника» носит условный характер.

В относительно узком левом окне экрана резидентно размещаются элементы управления главным меню виртуального УМК «Теплотехника», позволяющие осуществить оперативный переход к другой информационной составляющей на любой стадии работы с компонентами УМК.

Верхнее окно, высоту которого по мере необходимости можно регулировать, предназначено для контекстной помощи (например, рис. 4 иллюстрирует вывод соответствующей биографической информации о личности Юлиуса Роберта Майера).

Таким образом, возможности гипертекстовой технологии и контекстная помощь позволяют организовать контур внутренней обратной связи, а наличие тестов самоконтроля – контур внешней обратной связи, что способствует повышению эффективности формирования необходимых ПК у обучающихся в процессе выполнения ими КО ИРЗ в аудиторный период ПЗ, а также в ходе внеаудиторной самостоятельной работы.

### **Литература**

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» (уровень специалитета) (утв. Приказом Министерства образования и науки Рос. Федерации от 17 авг. 2015 г. № 851). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

2. Медведева Л.В., Родина М.В. Формирование профессиональных компетенций в образовательной среде естественно-научных дисциплин // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 1. С. 178–185.

3. Абросимов А.Г. Информационно-образовательная среда учебного процесса в вузе. М.: Образование и Информатика, 2004. 256 с.

4. Glaser R. Probleme der Erforschung des automatisierten Lehrens. Unterrichtsprogrammierung und Stoffanordnung. In: Programmiertes Lernen und Lehrmaschinen. W. Correll (Hrsg.) Berlin, Deutsche Verlag Wiss, 1995.

5. Компьютерные технологии в науке и образовании: учеб. пособие / А.И. Черных [и др.]. Краснодар: КубГТУ, 2011. 224 с.

6. FrontPage | Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/front-page/> (дата обращения: 26.01.2018).

## **ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

**Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;**

**А.А. Пермьяков, кандидат педагогических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

В статье на основе принципов национальной доктрины инженерного образования России раскрыты теоретико-методологические аспекты развития видов деятельности обучающихся от учебной к профессиональной деятельности. Развитие видов деятельности обеспечивает будущим инженерам естественный переход от учения к труду в образовательной среде вуза и позволяет преодолеть одну из основных негативных проблем профессионализации инженерных кадров – приоритет предметности образовательной системы высшей школы.

*Ключевые слова:* национальная доктрина инженерного образования, профессионализация, естественный переход от учения к труду, приоритет предметности, профессиональные умения, творческий стиль деятельности, фундаментальный системный инвариант

## THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS AND PROBLEMS OF ENGINEERS PROFESSIONALIZATION IN TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT

L.V. Medvedeva; A.A. Permyakov.

Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

We revealed theoretical and methodological aspects of the student's activities types development from study to professional activity on the base of the principles of the Russian engineering education national doctrine. The development of activities types provides future engineers with a transition from studying to practical activity in the educational environment of the university and allows overcoming one of the main negative problems of engineer's professionalization – the objectivity priority of the higher education system.

*Keywords:* Russian engineering education national doctrine, professionalization, transition from studying to practical activity, objectivity priority, professional skills, creative style of activity, fundamental system invariant

Согласно концептуальным идеям национальной доктрины инженерного образования [1] профессионализация образования направлена на подготовку нового типа специалиста-профессионала, носителя целостной научно-технической деятельности, отличающегося глобальностью мышления, энциклопедичностью знаний, аристократичностью духа, способного к творческой работе на всех этапах жизненного цикла создания систем от исследования и конструирования до разработки технологии и предпринимательской деятельности.

С этих позиций основой современного инженерного образования должны стать не столько учебные предметы, сколько способы мышления и деятельности, а, следовательно, знания, методы познания, методы деятельности должны быть интегрированы в органическую целостность.

При таком подходе актуализируется необходимость включения в требования к уровню подготовки инженеров формирование методологической культуры путем овладения методами познавательной, профессиональной, коммуникативной и аксиологической (творческой) деятельности.

В реальной образовательной практике технического вуза профессионализация достигается через освоение инженерного дела, овладение инженерной культурой и практико-ориентированной подготовкой (системной методологией, концептуальным проектированием, программированием развития). При этом дидактической основой профессионализации современного инженера следует считать:

- прочный естественнонаучный, математический и мировоззренческий фундамент знаний;
- междисциплинарные системно-интегративные знания о природе, обществе, мышлении;
- высокий уровень общепрофессиональных и специально-профессиональных знаний, обеспечивающих деятельность в проблемных ситуациях и позволяющих решить задачу подготовки специалистов повышенного творческого потенциала.

В современной дидактике существуют различные определения «умений». Например, Н.И. Болдырев, Н.К. Гончаров, Б.П. Есипов, Ф.Ф. Королев определяют умение как практическое действие. Юсов В.Т., М.И. Дьяченко, Б.П. Корочкин считают, что умения



представляют собой «сложные образования, в которых всегда присутствуют элементы творчества, позволяющие специалисту успешно действовать в непрерывно меняющейся обстановке» [2].

Сорокин Н.А. определяет умения как «способность производить определенные действия не только в данной ситуации, но и при различных изменениях первоначальных умений» (Педагогика / под ред. Ю.К. Бабанского. М.: Просвещение, 1983).

В других работах «умение» определяется как «подготовленность к сознательным и точным действиям», «применение знаний и навыков в данных конкретных условиях», «успешное выполнение какого-либо действия или сложной деятельности с применением правильных приемов, способов и т.д.».

Вместе с тем прослеживается общий подход, который позволил В.И. Козлачкову определить дидактический статус категории «профессиональные умения». По определению В.И. Козлачкова, профессиональные умения представляют собой «сформированную в процессе обучения возможность самостоятельно реализовать в изменяющихся условиях профессиональные знания с определенным качеством и за определенное время» [3]. Профессиональные умения реализуются в процессе осуществления трудовой деятельности и характеризуются уверенностью (освоенность, легкость), обобщенностью, развернутостью действия.

Вместе с тем каждая «клеточка» материально-преобразующей предметной деятельности деятельного субъекта вне зависимости от предметной области включает в себя «элементы и внешней, и внутренней, и практической, и теоретической деятельности» [1, с. 115].

В психологии внешняя деятельность человека складывается из специфических действий с реальными предметами, а внутренняя деятельность человека происходит посредством «умственных действий», где человек оперирует не с реальными предметами, а с идеальными динамическими моделями, которые создаются в процессе мышления. «Внутренняя деятельность планирует внешнюю; она возникает на основе внешней и через нее реализуется» [4].

Следовательно, для субъекта профессиональной деятельности теоретическая деятельность и материально-технический процесс реального преобразования предмета – это наделенные относительной самостоятельностью моменты целостной самодеятельности, которая выступает для субъекта деятельности целью и потребностью жизни.

Таким образом, способность к интеллектуальным проявлениям в различных видах деятельности становится по существу регулятивным требованием, выполнение которого обеспечивает целостность профессиональной деятельности субъекта и его квалификацию.

С этих позиций развитие интеллектуальных способностей будущих специалистов на всех этапах их подготовки в вузе является одной из важных стратегических задач, решение которой обуславливается развитием индивидуальных ментальных структур, ментального поля и ментальных репрезентаций действительности. Именно адекватные ментальные репрезентации действительности, развитие интенционального опыта субъекта обеспечивают адекватность его убеждений, умозаключений и предпочтений по отношению к предмету будущей профессиональной деятельности, которые определяют мировоззренческую направленность внутренней деятельности индивида.

«Образованным» является не тот, кто знает «много» о случайном ... бытии вещей ... или тот, кто может в соответствии с законами в максимальной степени предвидеть процессы и управлять ими (первый есть «ученый», а второй есть «исследователь»), образованным является тот, кто овладел структурой своей личности, совокупностью выстроенных в единстве одного стиля идеальных схем созерцания, мышления, толкования, оценки мира....» (М. Шелер) [5].

Любая профессиональная деятельность, по мнению В.Д. Шадрикова, выступая в качестве нормативно одобренного способа деятельности, в процессе освоения профессии превращает его в индивидуальный стиль деятельности, личной внутренней стороной которого является формирование психологической системы деятельности данного человека [6].

С этих позиций формирование инвариантной системы интеллектуальных умений будущего инженера в процессе его профессионально-технической подготовки в вузе обеспечивает формирование и развитие личной «действующей способности», в которой «сосуществуют и противоборствуют два компонента – нормативный и вариативный. Первый компонент закрепляет уже накопленный людьми опыт, а без второго не может быть творчества, развития, движения вперед» [7].

В процессе развития личной действующей способности осуществляется формирование подструктур творческого стиля деятельности будущего инженера.

Посталюк Н.Ю. в диссертационной работе последовательно развивает идеи Д.Б. Богоявленской, И.П. Калошина, В.Г. Разумовского, В.С. Юркевича и окончательно «уходит» от «жесткой» закреплённости способностей за конкретным видом деятельности. При этом категория «творческий стиль деятельности» (ТСД) определяется как «устойчивое единство способов и средств деятельности, обеспечивающих ее продуктивный характер и целостность» [8]. Концепт, не связанный с содержанием деятельности и не «привязанный» жестко к личности, становится двойным инвариантом. Посталюк Н.Ю. выделяют следующие подструктуры творческого стиля деятельности:

- мотивационная (развитие творческой направленности через центральное звено – направленность личности на саморазвитие);
- интеллектуальная (становление стилеобразующих черт творческой деятельности: «проблемное видение», гибкость, критичность, антиконформизм интеллекта, диалектичность мышления);
- эмоционально-волевая (развитие способности к самоуправлению).

Системный подход к определению ТСД обеспечивает возможность осуществления системного анализа содержания его подструктур. В том случае, если в процессе обучения учебной дисциплине обеспечиваются необходимые психолого-педагогические условия для развития всех подструктур ТСД, то у познающего субъекта развиваются не только познавательные и адаптационные функции, но и формируется важное, по мнению В.А. Извозчикова, свойство интеллекта исследователя: способность ставить задачу и самопрограммироваться на ее решение [7, 9].

Становление этого свойства интеллекта не только определяет устойчивость навигации обучающегося в поле усвоенных им системных научных знаний при изучении специальных дисциплин, но и в значительной степени влияет на продуктивность и результативность профессиональной деятельности.

«Развитие представляет собой закономерное, целостное, необратимое структурное изменение систем, имеющую определенную направленность. Эта направленность является равнодействующей от сложения различных внутренних тенденций изменения, вытекающих из законов движения системы и наличных внешних условий. ...При восходящем развитии происходит усложнение связей, структуры и формы движения, прогрессивные преобразования от низшего к высшему» [4].

Развитие обеспечивается в процессе взаимодействия различных противоположностей, составляющих внутреннее содержание различных изменений, что в итоге обуславливает смену конкретных качественных состояний (смену видов деятельности обучающихся).

Последовательная трансформация одной формы деятельности учения в другую, все более приближающуюся к формам организации профессиональной деятельности, может быть реализована при условии, если в рамках предыдущей формы подготавливается переход к последующей, которая не утрачивает своих педагогических свойств и возможностей. С этих позиций в методологической «системе отсчета» при осуществлении «цепочки» переходов от одной формы деятельности к другой «телом отсчета» становится учебная деятельность обучающегося при изучении фундаментальной дисциплины.

При переходе от изучения основных разделов фундаментальной дисциплины к изучению общетехнических дисциплин должен быть обеспечен переход от учебной

к квазипрофессиональной деятельности и, одновременно, созданы необходимые предпосылки для дальнейшего перехода к учебно-профессиональной и профессиональной деятельности.

Единицей перехода от учения к труду становится фундаментальный системный инвариант, системными блоками которого являются:

- фундаментальный инвариант первичной учебной информации;
- базовая система интеллектуальных умений;
- структура творческого стиля деятельности.

Сближение структуры учения со структурой профессионального труда осуществляется посредством развивающегося фундаментального системного инварианта в процессе инженерно-технической подготовки.

Движение от учебной деятельности (УД) к квазипрофессиональной деятельности (КПД), от квазипрофессиональной к учебно-профессиональной деятельности (УПД) и далее к профессиональной деятельности (ПД) посредством развития фундаментального системного инварианта (ФСИ) в проблемном поле специальных дисциплин вуза представлено на рисунке.

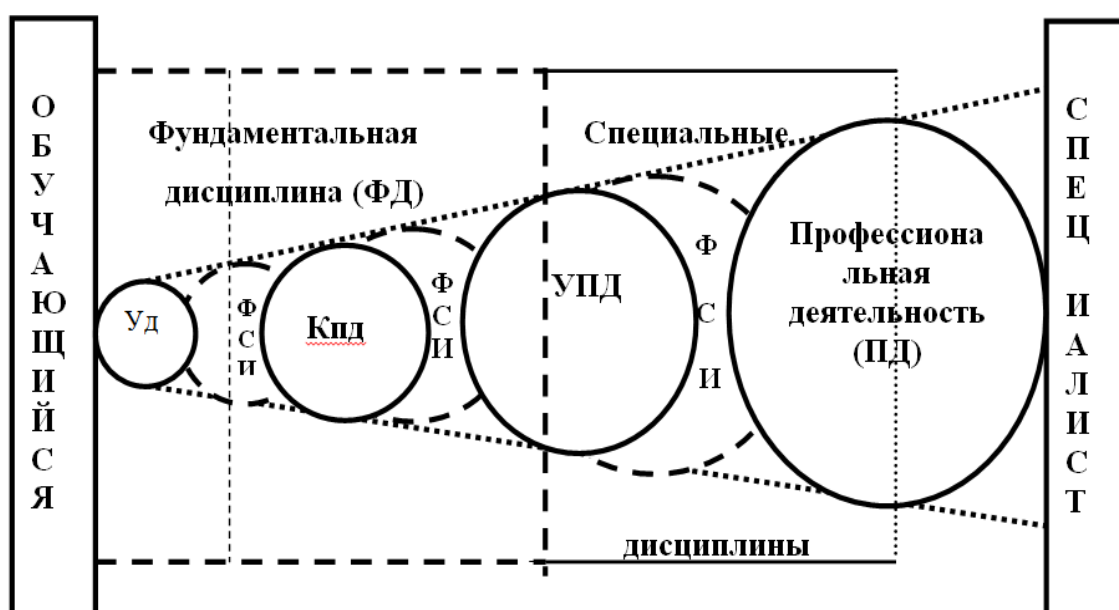


Рис. Развитие видов деятельности познающего субъекта

Именно в реализации указанных преемственных видов деятельности будущих инженеров обеспечивается естественный переход от учения к труду и преодолевается одна из основных негативных проблем профессионализации инженерных кадров – приоритет предметности образовательной системы высшей школы.

Приоритет предметности во всех звеньях профессионального образования (в том числе и высшей школе) способствует развитию такой образовательной ситуации, в которой качество профессиональной подготовки определяется ее предметным содержанием, а значение тех или иных учебных дисциплин оценивается количеством часов, выделенных на их изучение в учебных планах и программах.

При таком подходе предметная разобщенность и изолированность становится удобной формой «сосуществования» всей совокупности учебных дисциплин, включенных в программу подготовки будущего специалиста. С обособлением частей органичного целого – культуры (конкретных разделов культуры) утверждается приоритет «суммативного подхода» в построении дисциплинарной системы высшей школы, снижающий ее образовательный потенциал.

«Механическое» соединение учебных дисциплин, включенных в предметную подготовку специалистов разных профилей, обуславливает разобщенность в действиях профессорско-преподавательского состава и его самоизоляцию в замкнутом пространстве структурного подразделения высшей школы (кафедра, научно-исследовательская лаборатория, отдел и т.д.). В условиях отсутствия «взаимной ответственности» и «взаимных обязательств» учебных дисциплин за качество профессиональной подготовки специалиста приоритетные позиции в образовательном процессе высшей школы занимает объяснительно-иллюстративный метод обучения, ролевые функции коммуникационной системы «информатор-слушатель» закрепляются односторонне, а процесс обучения приобретает характер процесса обслуживания. При этом, как справедливо отмечают Г. Груздев и В. Груздев (Нижегородский коммерческий институт): «Преподаватель рассматривается как источник удовлетворения потребностей обучаемого в знаниях и навыках, но отнюдь не как деловой партнер, взаимодействие с которым позволяет продуктивно овладевать общекультурными и профессиональными ценностями» (Высшее образование в России. 1996. № 1. с. 118).

Таким образом, негативным последствием предметной разобщенности и изолированности становится взаимная «изоляция» и формальный характер отношений между субъектами педагогического процесса вуза. «Отдельные предметы не складываются в систему воспитания образованного человека. Не складываются! Химии учим, истории учим, алгебре – да мало ли чему еще! Но учим не всегда так, не всегда тому. И главное – разрозненно, не комплексно, не системно.... Сообщаем готовые идеи, а не путь, которым шли к нему исследователи. Много зубрим, мало мыслим. Много слушаем, мало говорим. Много читаем, мало анализируем», – комментируют образовательную ситуацию в современной высшей школе преподаватели Кубанского университета Н.Г. Товамчева и Е.Р. Крылова [10, С. 82].

В условиях отсутствия реального конструктивного взаимодействия между участниками педагогического процесса высшей школы и приоритета «суммативного подхода» в построении дисциплинарной системы специальное образование утратило опору на фундаментальные естественнонаучные знания при формировании специальных знаний и навыков, то есть утратило свои глубинные основы. В свою очередь, естественнонаучное образование, структурно не связанное со специальными дисциплинами, утратило свои передовые позиции в процессе подготовки специалиста и трансформировалось в ее обязательную «механическую» часть.

В связи с этим в вузах страны закономерно закрепляется педагогическая практика формирования фундаментальных знаний «про запас» по принципу «фундамент ради фундамента». При этом условия формирования и качество «фундамента» оцениваются вне зависимости от процесса формирования специальных знаний. Таким образом, закономерным следствием предметного типа образования становится противоречие между необходимостью формирования целостного научного знания и реально существующим «разрывом» структурных связей естественнонаучного и специального образования высшей школы.

«Механическое» соединение учебных дисциплин, включенных в учебную программу подготовки специалиста, обуславливает «знаниевый» тип образования. В «знаниевом» типе образования, основанном на классическом типе рациональности (В. Степин), утверждается ведущая роль теоретических знаний, что имеет серьезные негативные последствия для подготовки специалиста в вузе [11].

В условиях, когда основы наук утверждаются в качестве главной цели образования, создаются объективные предпосылки отрыва теории от сути социальной практики общества и той практической деятельности, ради которой осуществляется образовательный процесс высшей школы. Появляется реальная опасность неадекватного отражения объективной действительности и появление известного феномена абстрактных знаний – модели «идеального образа» бытия, которая не приближает обучающегося к жизни и практике, а отдаляет от них. Модель бытия и мир труда, представленные в виде знаковых систем общих и профессиональных знаний, обучающих алгоритмов и способов решения учебных задач постепенно отчуждают будущего специалиста от реальности.

Отчуждение будущего специалиста от реальности и сути социальной практики общества еще на стадии обучения в вузе объясняется тем, что модель бытия в условиях приоритета «суммативного подхода» при построении дисциплинарной системы вуза формируется как доменная структура различной плотности. Компоненты доменной структуры – знаковые системы общих и профессиональных знаний в силу изолированности естественнонаучного и специального образования только механически дополняют друг друга, а по мере «удаления» обучающегося в область специального образования фундаментальные знания постепенно оказываются на периферии информационного массива, что является закономерным результатом их фрагментарного и бессистемного использования.

Обучающие алгоритмы и способы решения учебных задач как компоненты доменной структуры в условиях приоритета «абстрактного метода школы» (В. Брунер) и оскудения материальной базы учебных лабораторий вузов, ориентированные на навык или «автоматизированное умение», способствуют выработке умений работать по «образцу», то есть последовательно развивают репродуктивный тип деятельности. «Навык как конечный результат образования и обучения, в котором удельный вес опыта творческой деятельности невелик, способствует формированию человека как «винтика» социально-политической системы», – указывает профессор К.М. Оганян [12, с. 33].

Таким образом, овладение моделью бытия и мира труда опредмечивается и закрепляется в виде результата традиционной триады («знания, навыки и умения»). Эта триада, с одной стороны, не имеет «глубинных основ», а с другой – не имеет устойчивых структурных связей с предстоящей профессиональной деятельностью, что существенно осложняет «вхождение» выпускника вуза в мир профессии. «Разрыв между знанием и умением – это основная причина бед и средней, и высшей школы», – справедливо отмечает профессор В.Е. Шукшунов [13, с. 24].

По оценкам экспертов длительность периода адаптации молодого специалиста при смене типа и предмета деятельности в результате «разрыва» между приобретенными знаниями и профессиональным умением составляет в среднем три–пять лет [13–15]. При этом эксперты отмечают, что адаптации молодого специалиста в значительной степени препятствует неадекватная самооценка личностью своих профессиональных качеств и возможностей. В условиях, когда классический тип рациональности включается в процесс познания, рефлексия направляется только на объект изучения («знания, навыки и умения»). Этот объект становится единственной и главной целью деятельности всех субъектов педагогического процесса, а «цена средств» достижения цели не принимается во внимание.

Следовательно, если в процессе обучения цель деятельности – только объект изучения в виде результата традиционной триады, то рефлексия охватывает их как единственную цель и ценность в деятельности всех участников педагогического процесса вуза. Именно этот приобретенный в процессе обучения «механизм» рефлексивной деятельности затем закономерно переносится субъектом обучения и в другую деятельность (в том числе и профессиональную), а самоидентификация, основанная на «отметочном» подходе (за которым стоят всего лишь триада «знания, навыки и умения») неизбежно приводит к неадекватной оценке личностью своих профессиональных качеств и возможностей.

Таким образом, утрата глубинных основ профессиональной подготовки обуславливает появление дефектов в самом процессе профессионализации. К основным дефектам профессионализации в условиях просвещенческой парадигмы можно отнести: отчуждение будущего специалиста от реальности; воспитание репродуктивного типа деятельности как ведущего типа профессиональной деятельности; самоидентификация личности, основанная на «отметочном» подходе, и, как следствие, неадекватная самооценка личностью своих профессиональных качеств и возможностей.

По мнению академика Б.Т. Лихачева: «...в современном быстро меняющемся мире знания, умения и навыки суть явления неустойчивые, они достаточно быстро утрачивают необходимые и стабильные соответствия реальным явлениям и процессам. Выпускник учебного заведения должен быть не только «держателем» акций – знаний, но и активным

творческим пользователем. Ему необходимо овладеть не только методами и способами постоянного их обновления, но и умениями преодолевать отжившее свое шаблоны и стереотипы мышления и действий» (Педагогика. 1999. № 1. С. 16).

Отечественные и зарубежные исследователи сходятся во мнении о том, что главной причиной «одномерности» (В.А. Кинелев) узкоспециализированного субъекта является отсутствие у него широкой фундаментальной подготовки. В связи с этим специалист становится неспособным к углубленному самосовершенствованию в конкретной профессиональной деятельности, неспособным «преодолевать отжившее свое шаблоны и стереотипы мышления и действий» и, как следствие, неспособным адаптироваться к новым требованиям и условиям труда.

Действительно, узкая специализация обеспечивает, прежде всего, сокращение сроков адаптации молодого специалиста в конкретной области профессиональной деятельности, но, зная «как» следует действовать, он почти не знает «почему», то есть не имеет гарантий сохранения профессиональной мобильности в условиях постоянной перестройки и совершенствования деятельности специалиста и ее многовариантном использовании. При этом широкая фундаментальная подготовка становится именно той фундаментальной базой, которая позволяет специалисту переучиваться, совершенствовать свою профессиональную деятельность в конкретной области знания и осваивать новые направления в развитии науки и техники.

Представляется, что именно с достижением диалектического единства широкой фундаментальной подготовки специалиста и узкой специализации в конкретной области знания (профессионализации) в процессе профессиональной подготовки высшей школы могут быть сформированы обобщенные слагаемые научно-технологического потенциала социума. Обобщенными слагаемыми научно-технологического потенциала социума в обществе с инновационной экономикой на основе системного анализа и обобщения требований к современному специалисту выступают [1, 14–16]:

- социально-технологический менталитет субъектов профессиональной деятельности, то есть тот уровень научных, профессиональных и общекультурных знаний, которые необходимы специалистам для осуществления инновационной деятельности;
- духовно-мировоззренческие ориентиры специалистов: потребности, интересы, мотивы деятельности, ценностные ориентиры, формирующие установку на творческий, высокопрофессиональный труд, в сфере которого специалист может реализовать себя как личность и обеспечить себе соответствующий адекватный социальный статус;
- патриотизм и преданность интересам своей страны как черта исторически сложившейся национальной идеологии, ориентирующей нацию на экономическое процветание и приоритетное положение в мировом сообществе на основе собственного потенциала.

Каждое из выделенных слагаемых характеризуется саморегуляцией социальных субъектов, доминантной ценностью самого человека (М.А. Барг, М. Вебер, Н.С. Розов, В.С. Степин, В.А. Ядов и др.) и мерой его приобщения к культурному наследию человечества, то есть уровнем образования человека.

С этих позиций педагогическая стратегия современного образования должна обеспечивать необходимые условия для становления и развития человеческой личности. В связи с этим в настоящее время в педагогических кругах осмысливаются разные подходы к фундаментализации образования, и, одновременно, актуализируется поиск конструктивных путей достижения диалектического единства широкой фундаментальной подготовки и профессионализации будущего специалиста в образовательной системе высшей школы.

## Литература

1. Похолков Ю.П. Инженерное образование в России или миф о лучшем в мире советском образовании // Инженерный клуб. URL: <http://www.enginclub.ru/inzhenernoe-obrazovanie-v-rossii> (дата обращения: 16.07.2015).

2. Зинченко В.П. Человеческий интеллект и технократическое мышление // Коммунист. 1988. № 3. С. 96–104.
3. Козлачков В.И. Дидактические условия формирования профессиональных умений в процессе практического обучения (на примере нормативно обусловленной профессиональной деятельности): автореф. ... канд. пед. наук. СПб., 1994.
4. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. 6-е изд. М.: Политиздат, 1991. 560 с.
5. Шелер М. Избранные произведения. М., 1994.
6. Шадриков В.Д. Психология деятельности и способности человека: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Логос, 1996.
7. Извозчиков В.А., Потемкин М.Н. Научные школы и стиль научного мышления. СПб.: Образование, 1997.
8. Посталюк Н.Ю. Дидактическая система развития творческого стиля деятельности студентов: автореф. ... д-ра пед. наук. Казань, 1993.
9. Извозчиков В.А. Инфоносферная эдукология: новые информационные технологии обучения. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 1991.
10. Концептуальные вопросы развития высшего образования: сб. науч. трудов / отв. ред. Б.Б. Косов [и др.]. М.: НИИВО, 1991.
11. Степин В.С. Человеческая антропология и философия науки. М.: Контакт-Альфа, 1996.
12. Человек и его потребности: учеб. пособие / под ред. К.М. Оганяна. СПб.: ССПбТИС, 1997.
13. Высшее техническое образование: взгляд на перестройку / В.Е. Шукшунов [и др.]. М.: Высш. шк., 1990.
14. Вишневский Ю.Р., Боронина Л.Н., Банникова Л.Н. Инженерное образование и воспроизводство инженерных кадров: практика и актуальные проблемы // Инженерное образование. 2017. № 21. С. 18–24.
15. Плотникова Н.В., Казаринов Л.С., Барбасова Т.А. Инженерное образование сегодня: проблемы модернизации // Вестник Южно-Уральского университета. Сер.: Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника. URL: <http://vestnik.susu.ru/ctcr/article/view/3034> (дата обращения: 16.07.2015).
16. Кизеев В.М., Похолков Ю.П. Качество инженерного образования в России. М.: АТИП. 2011. № 3 (42).

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК»**

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

Рассматривается методика оценки обучающихся как метод внесения в процесс профессионального обучения организационно-педагогических изменений, направленных на систематизацию процесса и повышение его качества, с постоянной проверкой и оценкой полученных результатов. Приведены примеры совершенствования контроля качества профессиональной подготовки специалистов.

*Ключевые слова:* профессиональная подготовка, методика оценки, автоматизированная обучающая система, тесты

## DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF ASSESSMENT OF STUDENTS WITH USE OF THE AUTOMATED TRAINING SYSTEMS ON DISCIPLINE FIRE SAFETY OF ELECTROINSTALLATIONS

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

In article the technique of assessment of students as a method of entering into process of vocational education of the organizational and pedagogical changes directed to systematization of process and increase in his quality, with continuous check and assessment of the received results is considered. Examples of improvement of quality control of vocational training of experts are given.

*Keywords:* vocational training, quality assessment technique, automated training system, tests

Методика по определению качества профессиональной подготовки обучающихся является комплексным исследованием, которое включает:

- психологический;
- социально-педагогический;
- технологический;
- управленческий аспекты [1].

Методика становится самостоятельной, достаточно надежной при следующих условиях [2]:

- когда она поставлена на основе научных положений и в соответствии с теоретически обоснованной гипотезой;
- сопровождается глубоким анализом промежуточных и конечных результатов;
- когда из нее извлекаются выводы, делаются обобщения.

Результаты ее выражаются в виде организационно-педагогических выводов, методических и практических рекомендаций.

При разработке структуры методики, проверки концептуальных положений профессиональной подготовки обучающихся были взяты в качестве теоретического обоснования модели инновационной системы процесса обучения, организуемого в университете. При формулировании задач, условий и методов организации поисковой деятельности исходили из содержания выдвинутой гипотезы исследования. Предполагалось, что организация профессиональной подготовки обучающихся станет начальным этапом в системе подготовки специалистов МЧС России и будет осуществляться в специально созданных организационно-педагогических условиях.

В методике выделяют три этапа:

- организационно-поисковый;
- опытно-экспериментальный;
- заключительный, обобщающий результаты исследования.

На организационно-поисковом этапе изучались [3]:

- состояние проблемы в теории и практике профессиональной подготовки специалистов Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России;
- социально-экономическая, психолого-педагогическая литература, литература по истории и традициям противопожарной службы;
- опыт профессиональной подготовки сотрудников пожарно-спасательных служб различных стран мира;
- существующая организация обучения в вузах ГПС.



В ходе организационно-поисковой работы установлено, что для подготовки специалистов пожарной безопасности соответствующего уровня квалификации потребуются:

- модернизация материально-технической базы (оснащение: учебных классов техническими, современными средствами обучения и оборудованием);
- внедрение в практику работы профессорско-преподавательского состава современных личностно и деятельно-ориентированных психолого-педагогических и информационных технологий, а также дидактических средств;
- ориентация учебно-воспитательного процесса на целевое развитие и саморазвитие профессиональных способностей обучающихся;
- повышение психолого-педагогической и специальной квалификации профессорско-преподавательского состава, задействованного в процессе профессионального обучения;
- создание благоприятной среды и атмосферы для совместной деятельности профессорско-преподавательского состава и обучающихся, а так же стимуляции саморазвития его личностно-значимых качеств и возможности для самореализации;
- определение необходимого количества обучающихся, участвующих в эксперименте и порядок его проведения;
- определение структуры и содержания обучения;
- разработка специального методического обеспечения, интегрирующего требования программ специального профессионального обучения пожарных и спасателей.

Осуществлено генерирование ведущих идей и замыслов в организации подготовки специалистов ГПС, в частности, разработан дидактический комплекс информационного обеспечения, необходимый для организации профессионального обучения, автоматизированная обучающаяся система проведения и контроля занятий, определены способы отслеживания эффективности предложенных нововведений.

Полученный материал был проанализирован с учетом опыта педагогической работы кафедр Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, а также оценки перспектив и возможностей развития учебной материальной базы университета.

По окончании теоретико-поискового этапа, определены основные концептуальные положения создания условий для внедрения в процесс обучения инновационных форм и методов организации профессионального обучения, повышения квалификации профессорско-преподавательского состава, задействованных в процессе профессиональной подготовки, разработки программы итогового контроля, дидактических и учебно-методических материалов. Подготовлена обобщенная схема модели конечного результата («эталонного продукта») обучения, была откорректирована методика исследования [4].

Второй этап (опытно-экспериментальный) доводился на базе кафедры Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

В период этапа исследования проведена следующая работа:

- опытным путем проверялась и корректировалось автоматизированная обучающаяся система: дидактическое обеспечение, профессионально-личностная модель конечного результата обучения, дидактические материалы;
- корректировались основные положения методики исследования;
- осуществлялся поэтапный анализ и экспертная оценка результатов обучения, обосновывались критерии и показатели уровня подготовки обучающихся;
- осуществлялся совместный поиск оптимальных организационно-педагогических условий;
- дорабатывалось содержание дидактического комплекса информационного обеспечения учебного процесса: учебные пособия, тесты контроля знаний и методика их использования в период обучения;
- проводились методические семинары с профессорско-преподавательским составом, задействованным в организации процесса обучения.

Изменение модели профессионального обучения и ориентация на развитие и саморазвитие личности потребовали выбора критериев оценки состояния (результата) процесса обучения, его результативности, а также степени соответствия их новым направлениям подготовки специалистов ГПС МЧС России [5].

Исследовательская работа проводилась с целью реализации разработанного методического обеспечения автоматизированной обучающей системы и анализа его влияния на качество профессиональной подготовки.

Третий этап (заключительный) исследования включал:

- итоговую диагностику качества обучения;
- обобщение, систематизацию, качественный анализ и описание результатов опытно-экспериментальной работы;
- внедрение автоматизированной обучающей системы, дидактического комплекса информационного обеспечения, учебно-методической литературы;
- уточнение критериев определения качества профессиональной подготовки;
- осуществление сбора статистических данных и их обработку, дальнейшее сопоставление с гипотезой, целями и задачами исследования.

Сущность эксперимента заключалась в том, что по общей программе данного исследования проводились отдельные занятия в учебных группах, из которых две были выбраны в качестве экспериментальных, а две – в качестве контрольных. В течение учебной сессии группы проходили обучение в соответствии с утвержденным учебным планом и учебной программой.

Уравнивающими условиями в эксперименте были:

- цели и задачи подготовки обучающихся по дисциплине «Пожарная безопасность электроустановок» в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России;
- контроль за подготовкой обучающихся, проводимый по одним и тем же темам программы;
- создание одинаковых условий при выполнении зачетных и контрольных мероприятий для объективного сравнения существовавшей и предлагаемой методик.

Различие в обучении состояло в том, что в контрольной учебной группе использовались традиционные методы обучения и традиционный дифференцированный зачет, а в экспериментальной была применена автоматизированная обучающая система.

В ходе опытно-экспериментальной работы велось наблюдение за выполнением обучающимися заданий, определенных программными документами, а также анкетирование, опрос, беседы, итоговое тестирование. По результатам полученных данных проведен анализ и определено качество проведенного обучения в автоматизированной обучающей системе и достижение поставленных задач.

Немаловажное значение в повышении качества профессиональной подготовки специалистов ГПС имеет педагогический потенциал руководителей обучения, их готовность перехода на инновационное обучение, в частности к новым информационным технологиям, в данном случае – к автоматизированной обучающей системе. Необходимо осуществить ряд мероприятий технологического, дидактико-методического и психолого-педагогического характера, направленных на повышение готовности педагогического коллектива к реализации задач по созданию условий для успешной профессиональной подготовки обучающихся.

Основными условиями успешности реализации инновационного обучения сотрудниками, ответственными за данное направление деятельности, является осознание профессорско-преподавательским составом собственных профессиональных проблем и их разрешение посредством образовательной деятельности, готовности к инновациям.

Исследование готовности профессорско-преподавательского состава вуза к инновационным изменениям в содержании и технологии профессиональной подготовки осуществлялось методами анкетирования, тестирования и бесед, практически всеми опрошенными высказывалась просьба обеспечения дидактическими средствами всех участников эксперимента.

Полученные результаты исследования показали, что большинство профессорско-преподавательского состава видят наличие проблем качества подготовки и готовы к реализации проекта, направленного на повышение эффективности профессиональной подготовки. В ходе проведенных опросов были высказаны различные причины, препятствующие, по их мнению, повышению качества профессиональной подготовки специалистов ГПС:

- необходимость реформирования системы профессиональной подготовки специалистов ГПС МЧС России;
- слабая довузовская подготовка;
- недостаточная разработанность и обеспечение дидактическими материалами;
- недостаточное развитие учебной материальной базы;
- отсутствие специально разработанного методического обеспечения и внедрения инновационных технологий обучения.

В целях планомерности фиксации приобретенных знаний и умений были определены три рубежных контроля:

- 1-й – это временной промежуток в период теоретического курса;
- 2-й – это временной промежуток в период выполнения курсового проекта;
- 3-й – в период сдачи дифференцирующего зачета.

Сбор данных осуществлялся по качественным, количественным и временным показателям: путем выполнения заданий в форме дидактических тестов (в период теоретического курса) и выполнения этапов курсового проекта.

Для определения качества обучения использовались следующие показатели:

- темп усвоения знаний и умений ( $T_y$ );
- темп продвижения в обучении ( $T_n$ );
- качество усвоения учебного материала ( $K_y$ );
- эффективность по уровню знаний ( $K_{y3}$ );
- уровень сохранившейся информации ( $P$ );
- коэффициент эффективности профессиональной подготовки ( $\varepsilon$ ).

Проведенная исследовательская работа показала следующие результаты:

1. Для определения  $T_y$  профессорско-преподавательский состав создает мотивацию, стремление быстрее и качественнее выполнить работу. Обучающийся выполняет задание, а профессорско-преподавательский состав точно фиксирует время окончания работы и вычисляет результат ( $T_y$ ) каждого по формуле:

$$T_y = (T_f / T_{\varepsilon}) \cdot 100\%,$$

где  $T_f$  – фактически затраченное время каждым обучающимся;  $T_{\varepsilon}$  – среднестатистическое время выполнения задания.

2. Показатель  $T_n$  намного полнее характеризует обучаемость, так как в нем учитывается более длительный период обучения. Профессорско-преподавательский состав фиксировал время полного усвоения уровня (курса обучения), каждым обучающимся и вычислял их темп продвижения по формуле:

$$T_n = (T_y / T_{\varepsilon}) \cdot 100\%,$$

где  $T_y$  – время полного усвоения раздела каждым обучающимся;  $T_{\varepsilon}$  – эталонное время усвоения того же объема учебного материала, установленное экспертным путем.

3. Определение качества усвоения по результатам тестирования производилось на основе зависимости для расчета коэффициента усвоения, по аналогии со статистическим определением вероятности:

$$K_y = a/n,$$

где а – число правильно решенных задач; п – общее количество задач.

Тест включает в себя только базовую часть дисциплины, он ограничивается по времени 60 мин, тестовые задания для каждого элемента выбирались случайным образом из банка тестовых заданий.

За выполнение каждого тестового задания испытуемому выставаются баллы по номинальной шкале, то есть за правильный ответ к каждому заданию выставляется один балл, за неправильный – ноль. Общая сумма баллов за все правильные ответы составляет наивысший балл – 32 балла.

Диапазон баллов, которые необходимо набрать для того, чтобы получить:

- отличную оценку – от 28 до 32 баллов или  $K_y \geq 0,875$ ;
- хорошую оценку – от 22 до 27 баллов ( $0,6875 \leq K_y < 0,875$ );
- удовлетворительную оценку – от 17 до 21 балла ( $0,531 \leq K_y < 0,6875$ );
- неудовлетворительную оценку – менее 16 баллов ( $K_y < 0,531$ ).

Критерии для составления тестовых заданий, заключались в следующем:

1. Тестовые задания сделаны равноценными по уровню сложности.
2. Разделение по уровням сложности сделано в каждом тестовом задании, начиная с самого простого вопроса – первого и заканчивая самым сложным вопросом – пятым.
3. В тестовых заданиях представлены вопросы как на проверку изученного материала, так и творческое мышление на основе полученных базовых знаний.
4. Тестовые задания сформулированы в виде письменных вопросов, представления аналитических соотношений, иллюстрационных материалов: графиков, рисунков.
5. Ответы тестовых заданий содержат однозначный один из представленных ответов.

Технология тестирования предполагает разработку компьютерной программы. Пример теста приведен в таблице.

Таблица. Тестовое задание

Номер задания	Наименование темы задания
1	2
<b>1. Схемы электроснабжения, типичные причины пожаров от электроустановок</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
1	Общие положения по электроснабжению
2	Разновидности схем электроснабжения
3	Типичные причины пожаров в силовых сетях
4	Типичные причины пожаров в сетях освещения
<b>2. Вероятная оценка пожароопасности электротехнических устройств, классы пожаро- и взрывоопасных зон</b> (критерии освоения не менее 2 правильно выполненных заданий)	
5	Вероятностная оценка
6	Классификация помещений по условиям внешней среды
7	Классы пожароопасных зон
8	Классы взрывоопасных зон
<b>3. Классификация взрывоопасных смесей</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
9	Пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ)
10	Горючие пыли и волокна
11	Взрывоопасные зоны с ЛВЖ
12	Взрывоопасные зоны с горючими пылями и волокнами

Номер задания	Наименование темы задания
1	2
<b>4. Взрывозащитное электрооборудование: требования к выбору, монтажу и эксплуатации</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
13	Общие положения маркировки взрывозащищенного электрооборудования
14	Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ПИВЭ
15	Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ПИВРЭ
16	Маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ГОСТ Р51330.0
<b>5. Пожарная безопасность электрических сетей: провода, кабели, аппараты защиты, обеспечение пожарной безопасности электрических сетей на этапах проектирования, монтажа и эксплуатации</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
17	Общие положения по электрическим сетям
18	Провода
19	Кабели
20	Аппараты защиты
<b>6. Пожарная безопасность электросиловых и осветительных установок: электродвигатели, аппараты управления, светильники</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
21	Виды и состав электродвигателей
22	Характеристики электродвигателей
23	Аппараты управления
24	Светильники
<b>7. Заземление и зануление электроустановок</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
25	Обозначение систем заземления
26	Значения параметров в системах заземления
27	Характеристики заземляющих устройств
28	Обеспечение электробезопасности с помощью устройства защитного отключения
<b>8. Молниезащита и защита от статического электричества</b> (критерии освоения: не менее 1 правильно выполненного задания)	
29	Причины возникновения и пожарная опасность статического электричества
30	Защита от статического электричества
31	Молния и ее опасность
32	Определение зоны защиты и высоты молниеотводов

Все полученные результаты  $T_u$ ,  $T_p$  и  $K_u$  обучающихся за период обучения складывались, выводились средние показатели (по рубежам контроля и по годам обучения).

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что все обучающиеся (экспериментальных и контрольных групп) во всех случаях испытывали определенные трудности в начальном периоде обучения (I-й рубежный контроль), который проводился в виде тестов.

Это объясняется двумя основными факторами:

- психологическим (период адаптации к новым условиям трудовой деятельности);
- определенными сложностями при изучении материала в период теоретического курса обучения.

Показатели II-го рубежного контроля также на протяжении всех лет были стабильны и не выходили за среднестатистические показатели. Усвоение учебного материала в период

выполнения курсового проекта обучающимися давалось легче, нежели теоретического. Это подтверждается повышением интереса и активностью обучающихся при написании курсового проекта. В период III-го рубежа контроля – сдачи дифференцирующего зачета отмечается повышенная мобилизация и сосредоточенность всех обучающихся [6].

Результаты, показанные на зачете, выявили закономерность отношения эффективности усвоения учебного материала к организации процесса обучения, используя технологию автоматизированной обучающей системы, и его конечному результату.

Таким образом, выявлено, что средний балл на протяжении трех лет контрольных групп был несколько ниже, чем в экспериментальных группах.

Эффективность применения автоматизированной обучающей системы по критерию уровня знаний ( $K_{уз}$ ) определялась по формуле:

$$K_{уз} = X_{э} / X_{к},$$

где  $X_{э}$  – средний балл в экспериментальных группах;  $X_{к}$  – средний балл в контрольных группах; % – отношение показателей контрольных и экспериментальных подразделений.

Таким образом, применение автоматизированной обучающей системы в период профессиональной подготовки обучающихся в экспериментальных группах позволило увеличить их уровень знаний и умений в исследуемое время практически на 11–12 %.

Для оценки уровня сохранившейся информации или прочности полученных знаний обучающихся были проведены проверки результатов, показанных на дифференцированных зачетах по окончании обучения дисциплины «Пожарная безопасность электроустановок» и через год после обучения, по тестам остаточных знаний.

Анализ результатов показал, что на всем протяжении проведения исследований средний балл обучающихся, представляющих экспериментальные группы (с использованием автоматизированной обучающей системы), был выше, чем у тех, которые учились в контрольных группах, в среднем на 0,45 балла.

Таким образом, применение в профессиональной подготовке автоматизированной обучающей системы в 1,25 раза позволяет увеличить коэффициент прочности знаний и умений у обучающихся.

Для определения коэффициента эффективности профессиональной подготовки проведены сравнения итоговых результатов обучения, показанных в начале эксперимента и его окончания, по следующему выражению:

$$\mathcal{E} = \frac{B_{к(к)(\mathcal{E})}}{B_{н(к)(\mathcal{E})}}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – коэффициент эффективности профессиональной подготовки (изучения дисциплины «Пожарная безопасность электроустановок»);  $B_{к(к)(\mathcal{E})}$  – средний балл итогового контроля конца эксперимента в контрольных группах (экспериментальных) группах;  $B_{н(к)(\mathcal{E})}$  – средний балл итогового контроля начала эксперимента в контрольных группах (экспериментальных) группах.

Подставляя в выражение (1) значения, полученные в контрольных и экспериментальных группах, получаем следующие результаты:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_к &= \frac{4,1}{4,0} = 1,025 \\ \mathcal{E}_э &= \frac{4,6}{4,1} = 1,122 \end{aligned} .$$

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении Э от внедрения в учебный процесс автоматизированной обучающей системы в экспериментальных группах в 1,092 раза или на 9,7 % по сравнению с контрольными группами.

На протяжении всего периода эксперимента в экспериментальных группах прослеживается устойчивая динамика роста результатов защиты курсовых проектов и сдачи дифференцируемого зачета, что также является показателем качества обучения.

Личностно и деятельно-ориентированные подходы, примененные в процессе профессиональной подготовки, позволили повысить уровень усвоения знаний и умений, обеспечивая их способность к осуществлению служебной деятельности.

Более низкие показатели коэффициента усвоения учебного материала вначале проведения эксперимента объясняются недостаточным опытом практической работы с применением инновационных технологий профессорско-преподавательским составом, отсутствием полного набора разработанной учебно-методической литературы. В последующие годы опираясь на приобретенный опыт и применяя автоматизированные обучающие системы, ситуация изменилась в лучшую сторону.

Таким образом, проведенные исследования доказали положительную и устойчивую динамику роста основных показателей, определяющих профессиональную подготовку обучающихся в период изучения дисциплины «Пожарная безопасность электроустановок», что позволяет утверждать об эффективности автоматизированной обучающей системы, соответствующего разработанного УМК (учебно-методического комплекса) и достижении поставленной цели.

### **Литература**

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Способы организации интерактивного обучения профессионально специальных дисциплин // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2017. № 1 (34). С. 42–46.
2. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Специфика работы с обучающимися по подготовке специалистов пожарной безопасности // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2017. № 2 (35). С. 38–43.
3. 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.
4. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Развитие учебно-материальной базы кафедры как одна из составляющих образовательного процесса // Подготовка кадров в система предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. С. 257–261.
5. 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.
6. Опыт проведения практических занятий в интерактивной форме по направлению «Техносферная безопасность» / Каверзнева Т.Т. [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.

# К ВОПРОСУ ЗАЩИТЫ ОТ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ, СОПУТСТВУЮЩИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

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

Рассмотрены некоторые особенности расчета биологической защиты личного состава МЧС России от внешнего облучения, возникающего при проведении аварийно-спасательных работ в условиях воздействия ионизирующих излучений. Рассмотрены допустимые уровни облучения, взаимодействие излучения с веществом защиты и основные положения расчета биологической защиты от нейтронного и гамма-излучения.

*Ключевые слова:* нейтронное излучение, гамма-излучение, предельно допустимая доза, биологическая защита

## THE PROBLEM OF PROTECTION FROM DANGEROUS EMERCOM FACTORS

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

In the article some features of calculation of biological protection of personnel of EMERCOM of Russia from the external irradiation arising at carrying out rescue works in the conditions of influence of ionizing radiations are considered. The admissible levels of irradiation, interaction of radiation with substance of protection and the basic provisions of calculation of biological protection against neutron and gamma radiation are considered.

*Keywords:* neutron radiation, gamma radiation, maximum permissible dose, biological protection

Чрезвычайные ситуации, связанные с радиационно-опасными объектами, ядерными материалами, радиоактивными веществами и отходами, а также источниками ионизирующих излучений представляют собой одну из наиболее серьезных угроз национальной безопасности и социально-экономическому развитию страны вследствие их особой разрушительной силы и долговременных негативных последствий [1].

В процессе ликвидации последствий аварийных ситуаций на объектах, имеющих источники радиоактивного излучения, могут испускаться излучения различного вида [2]: протоны,  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы, нейтроны и  $\gamma$ -излучение. Общим свойством всех ядерных излучений является способность при прохождении через вещество превращать его атомы из электрически нейтральных в ионизированные, то есть в электрически заряженные атомы.

При проектировании биологической защиты (БЗ) приходится иметь дело главным образом с нейтронами и  $\gamma$ -излучением, так как эти виды излучения наиболее проникающие [3]. Протоны,  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы представляют потенциальную опасность при внутреннем облучении, возникающем в результате вдыхания и заглатывания радиоактивных веществ.

Источниками проникающей радиации могут быть не только сами источники радиоактивного излучения, но и конструкционные материалы источника и защиты, а также воздух вблизи источника. При расчете БЗ нужно знать место образования излучения, энергетический спектр частиц и интенсивность (мощность) источника излучения [3].

Под влиянием нейтронов конструкционные материалы источника и БЗ приобретают наведенную активность. Образующиеся при этом изотопы являются источниками  $\beta$ -частиц, нейтронов и  $\gamma$ -излучения. Воздух, находящийся вблизи источника, приобретает наведенную  $\beta$ - и  $\gamma$ -активность и является особо опасным радиоактивным источником при внутреннем облучении.



## Допустимые уровни облучения

Степень биологической опасности ядерных излучений зависит от энергии, освобождаемой в ткани в результате ионизации. Доза облучения определяется через энергию излучения, поглощенную единицей массы облучаемой среды. В качестве единицы дозы используется рад, равный 100 эрг/г. Из-за различного химического состава воздуха и биологической ткани энергетический эквивалент рентгена для биологической ткани составляет 90–95 эрг/г. Единицей дозы рентгеновского или  $\gamma$ -излучения служит рентген [4].

Так как степень поражения живой ткани зависит не только от количества поглощенной энергии, но также от пространственного распределения энергии, то на практике используется биологический эквивалент рентгена (бэр) – 1 бэр есть количество энергии любого вида излучения, биологическое действие которого эквивалентно 1 рентгену  $\gamma$ -излучения. Мощность дозы измеряется в мрад/час, мбэр/час или мр/сек [4].

Полная доза для профессионального облучения не должна превышать  $5 \cdot (T-18)$  бэр, где  $T$  – возраст человека в годах. При этом суммарная доза к 30 годам не должна превышать 60 бэр. Облучение для обычного населения не должно превышать 0,05 бэр в год. В воде открытых водоемов предельно допустимая концентрация радиоактивных изотопов установлена в  $3 \cdot 10^{-11}$  кюри/литр.

При расчете БЗ нужно учитывать все виды внешнего и внутреннего облучения. Мощность дозы естественного радиоактивного фона в зависимости от местности составляет 0,003 – 0,025 мр/час.

Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и с источниками ионизирующих излучений [4] установлены предельно допустимые дозы (ПДД) облучения. При расчете БЗ необходимо знать потоки частиц, соответствующие одной предельно допустимой дозе. Так как количество поглощенной энергии и ее пространственное распределение зависят от вида излучения и энергии частиц, то для создания одной и той же дозы облучения требуются потоки частиц различной величины [5].

Доза быстрых нейтронов пропорциональна потоку частиц, а доза  $\gamma$ -лучей пропорциональна потоку энергии. Действие радиации часто выражают не в биологических эквивалентах рентгена, а непосредственно в количестве ПДД при непрерывном облучении [6], то есть:

$$D_{\gamma} = \Phi_{\gamma} / \Phi_{\gamma}^{\text{ПДД}} [\text{ПДД}] \text{ и } D_n = \Phi_n / \Phi_n^{\text{ПДД}} [\text{ПДД}],$$

где  $\Phi_{\gamma}$  и  $\Phi_n$  – потоки нейтронов и гамма-излучения [частиц/см<sup>2</sup>/сек].

Предельно допустимые потоки нейтронного и гамма-излучения, соответствующие 1 ПДД для энергии нейтронов 10 Мэв и гамма-квантов 7 Мэв равны:  $\Phi_n^{\text{ПДД}} = 15$  [частиц/см<sup>2</sup>/сек] и  $\Phi_{\gamma}^{\text{ПДД}} = 272$  [ $\gamma$ -квант/см<sup>2</sup>/сек]. С уменьшением энергии частиц значения предельно допустимых потоков увеличиваются [6]:

- для нейтронов энергией 0,5 Мэв  $\Phi_n^{\text{ПДД}} = 25$  [частиц/см<sup>2</sup>/сек];
- для нейтронов энергией 0,02 Мэв  $\Phi_n^{\text{ПДД}} = 230$  [частиц/см<sup>2</sup>/сек];
- для гамма-квантов энергией 5 Мэв  $\Phi_{\gamma}^{\text{ПДД}} = 350$  [ $\gamma$ -квант/см<sup>2</sup>/сек];
- для гамма-квантов энергией 2,5 Мэв  $\Phi_{\gamma}^{\text{ПДД}} = 575$  [ $\gamma$ -квант/см<sup>2</sup>/сек].

При расчете биологической защиты нужно учитывать все виды внешнего и внутреннего облучений. Суммарная доза от всех видов облучения не должна превосходить одной ПДД.

## Биологическая защита

Материалы БЗ должны хорошо поглощать нейтроны и  $\gamma$ -кванты. Однако ни один из материалов не может быть одновременно эффективным для ослабления и нейтронов и  $\gamma$ -квантов. Поэтому БЗ должна состоять из легких (упругое рассеяние нейтронов) и тяжелых (неупругое рассеяние нейтронов и поглощение  $\gamma$ -квантов) материалов. Материалы БЗ должны иметь высокую стойкость к тепловому и радиационному воздействию,

устойчивость против коррозии, огнестойкость, нетоксичность, хорошие механические свойства, доступность и технологичность [6].

В качестве материалов БЗ используются вода, бетоны, органические вещества, графит, гидриды металлов, сталь и свинец. Вода содержит много атомов водорода, поэтому интенсивно замедляет нейтроны. Бетон защищает от  $\gamma$ -излучения и нейтронов. Парафин, пластмассы, резина содержат много атомов водорода и являются более эффективной защитой от нейтронов, чем вода. Графит по конструктивным и температурным свойствам может заменять воду и полиэтилен. Гидриды металлов хорошо защищают от нейтронов и  $\gamma$ -излучения. Однако они при высокой температуре выделяют водород. Свинец является лучшим защитным материалом от  $\gamma$ -излучения. Однако в толстых слоях свинца могут накапливаться  $\gamma$ -кванты с энергией около 3 Мэв. Сталь более эффективна, чем свинец, при защите от быстрых нейтронов. Однако она под влиянием нейтронного потока активируется, особенно если содержит марганец и кобальт.

Расчет БЗ сводится к определению потоков излучения на внешней поверхности защиты. Необходимая толщина и состав БЗ в различных направлениях определяются методом последовательных приближений. За счет поглощения радиоактивного излучения имеет место существенное тепловыделение в элементах БЗ. Учет распределения тепловыделения по толщине БЗ позволяет обеспечить охлаждение защитных экранов и тепловую стойкость конструкции.

Все виды взаимодействия нейтронов с веществом при расчете БЗ делят на две группы: рассеяние и поглощение. При рассеянии нейтрон изменяет энергию и направление движения.

Гамма-излучение при движении через компоненты БЗ вступает в различные процессы взаимодействия, однако при расчете БЗ можно учитывать только три процесса: фотоэлектрический эффект, эффект комптоновского рассеяния и образование пар. При фотоэлектрическом эффекте  $\gamma$ -квант поглощается с выделением слабого рентгеновского излучения. Комтоновское рассеяние происходит при энергии  $\gamma$ -квантов более 1 Мэв. При образовании пар электрон-позитрон возникает слабое вторичное рентгеновское излучение, которое при расчете БЗ можно не учитывать.

Экспоненциальный закон ослабления излучения [6] справедлив только для узкого пучка частиц, который характерен только для лабораторных условий и на практике не встречается. Расчет БЗ по чисто экспоненциальному закону для широких пучков частиц, которые участвуют в процессах многократного рассеяния, приводит к заниженной оценке суммарного эффекта излучения за защитой. Для учета эффекта многократного рассеяния используют фактор накопления  $B$ . В соответствии с характером воздействия излучения на биологические ткани и конструкционные материалы различают дозовый  $B_d$  и энергетический  $B_e$  факторы накопления. Дозовый фактор накопления  $B_d$  используется при расчете дозы облучения и равен отношению дозы от полного потока излучения к дозе от нерассеянного излучения.

Закон ослабления потока  $\gamma$ -квантов в БЗ может быть представлен в следующем виде [6]:

$$\Phi = \Phi_0 B_d e^{-\mu x},$$

где  $\Phi_0$  – исходный поток  $\gamma$ -квантов;  $\Phi$  – поток  $\gamma$ -квантов за БЗ;  $B_d$  – дозовый фактор накопления;  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения [ $\text{см}^{-1}$ ];  $x$  – толщина слоя вещества БЗ [ $\text{см}$ ].

Величина фактора накопления  $B_d$  зависит от энергии излучения, свойств и толщины материала БЗ. Зависимость дозового фактора накопления от свойств, толщины материала и энергии частиц для железа [6] представлена на рис. 1.

Обычно БЗ состоит из чередующихся слоев тяжелых и легких веществ. В этом случае фактор накопления  $B_d$  зависит как от толщины каждого слоя, так и от порядка расположения слоев. Если, например, БЗ состоит из чередующихся слоев тяжелого и легкого веществ, то результирующий фактор накопления равен произведению факторов накопления для

каждого слоя:  $V_d = \Pi V_{dj}$ . Для обратного расположения слоев легкого и тяжелого компонентов БЗ суммарный фактор накопления будет меньше вычисленного по формуле  $V_d = \Pi V_{dj}$ .

Источники излучения могут иметь сложную форму. Поэтому источник любой сложной формы в расчете БЗ представляется в виде совокупности источников простой формы (точечный, плоский, сферический). Для многослойной защиты с толщинами слоев  $x_j$  и линейными коэффициентами ослабления излучения  $\mu_j$  ослабление потока излучения за БЗ будет пропорционально  $e^{-b}$ , где  $b = \sum x_j \mu_j$ .

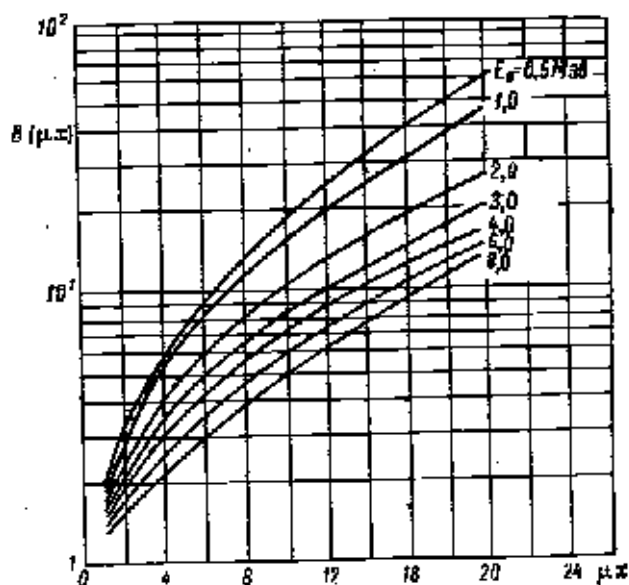


Рис. 1. Дозовый фактор накопления для железа

Схема БЗ от точечного источника излучения [6] представлена на рис. 2.

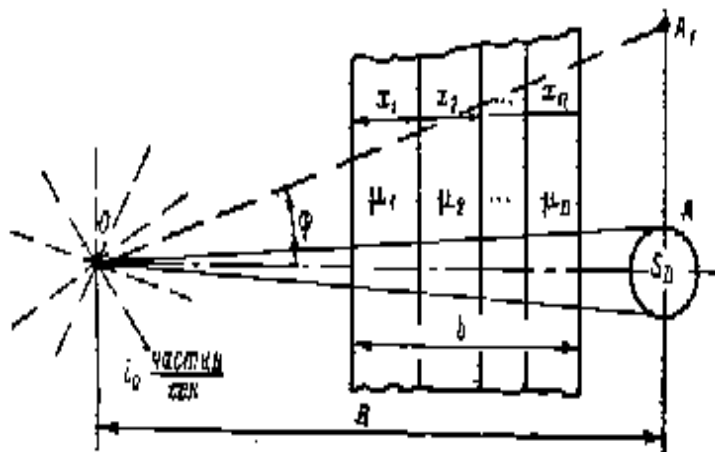


Рис. 2. Излучение точечного источника

Здесь  $S_D$  – детектор излучения. Расчет БЗ сводится к определению потоков нейтронов, первичного и вторичного  $\gamma$ -излучения на внешней поверхности БЗ. Исходные данные для расчетов БЗ следующие:

- потоки нейтронов и  $\gamma$ -излучения от источника излучения;
- форма и размеры источника радиоактивного излучения;
- толщина и состав конструкционного материала источника радиоактивного излучения.

Необходимые толщина и состав материалов БЗ в различных направлениях определяются методом последовательных приближений. Сначала выбирают толщину и состав материалов БЗ. Далее по известной толщине и составу материалов отдельных слоев БЗ рассчитывают потоки нейтронов, первичного и вторичного  $\gamma$ -излучения за БЗ. Если полученные значения потоков за БЗ не удовлетворяют нормам радиационной безопасности, то необходимо внести соответствующие изменения по толщине и составу материалов отдельных слоев БЗ и повторить расчет. В расчете используются приведенные ранее зависимости:

– ПДД от нейтронов за БЗ:  $D_n = \Phi_n / \Phi_n^{\text{ПДД}}$  [ПДД];

– ПДД от  $\gamma$ -излучения за БЗ:  $D_\gamma = \Phi_\gamma / \Phi_\gamma^{\text{ПДД}}$  [ПДД].

Суммарная доза за БЗ составляет:  $D_\Sigma = D_n + D_\gamma$ .

Тепловыделение в элементах конструкции источника радиоактивного излучения и слоях БЗ обусловлено процессами поглощения первичного и вторичного  $\gamma$ -излучения, испускаемого в результате захвата нейтронов в БЗ, и процессом передачи кинетической энергии нейтронов в результате их замедления в материалах БЗ.

Тепловыделение от первичного  $\gamma$ -излучения зависит от состава материалов БЗ. Полное тепловыделение от первичного  $\gamma$ -излучения можно определить по формуле [6]:

$$Q_\gamma = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot \sum_{i=1}^m \mu_\gamma \cdot E_\gamma \cdot B_\gamma \cdot \Phi_\gamma \text{ [Вт/см}^3\text{]},$$

где константа  $1,6 \cdot 10^{-13}$  является переводным коэффициентом Мэв/сек в Вт;  $m$  – число выбранных энергетических групп  $\gamma$ -квантов;  $\mu_\gamma$  – линейный коэффициент поглощения энергии  $\gamma$ -квантов в материале БЗ;  $E_\gamma$  – энергия  $\gamma$ -квантов;  $B_\gamma$  – энергетический фактор накопления;  $\Phi_\gamma$  – поток  $\gamma$ -квантов. Если энергия  $\gamma$ -квантов существенно различается, то для повышения точности расчета он производится для каждой выбранной энергетической группы и результаты суммируются.

Энергетический фактор накопления  $B_\gamma$  равен отношению полного потока поглощенной энергии излучения к нерассеянной его части. Зависимость энергетического фактора накопления от свойств, толщины материала и энергии частиц для железа [6] представлена на рис. 3.

Тепловыделение от вторичного  $\gamma$ -излучения можно определить по формуле:

$$Q_{\gamma\text{вт}} = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot \mu_\gamma \cdot E_{\gamma\text{вт}} \cdot B_{\gamma\text{вт}} \cdot \Phi_{\gamma\text{вт}} \text{ [Вт/см}^3\text{]}.$$

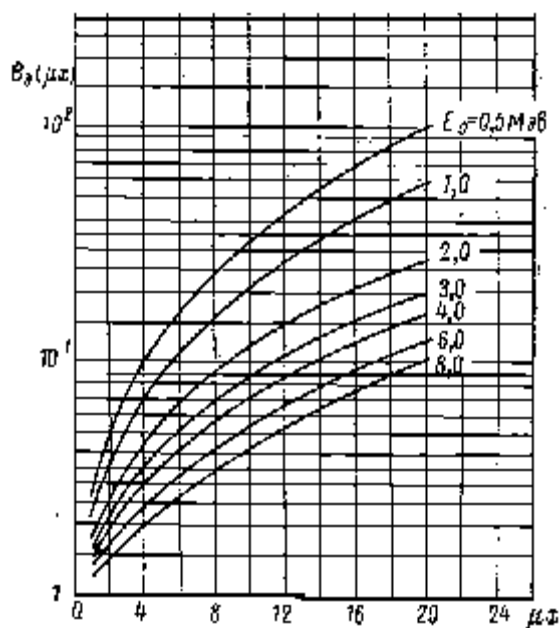


Рис. 3. Энергетический фактор накопления для железа

Тепловыделение от замедления нейтронов в материале БЗ можно определить по формуле:

$$Q_n = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot \sum_{i=1}^k S_n \cdot E_n \cdot \Phi_n [\text{Вт/см}^3],$$

где  $k$  – число выбранных энергетических групп нейтронов;  $S_n$  – макроскопическое сечение рассеяния нейтронов в слоях БЗ. Если энергия нейтронов существенно различается, то для повышения точности расчета он производится для каждой выбранной энергетической группы и результаты суммируются.

Полное тепловыделение в единице объема БЗ может быть определено по формуле:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\gamma} + Q_{\text{увт}} + Q_n.$$

По приведенным формулам можно найти распределение тепловыделения по толщине БЗ, что позволяет обеспечить необходимое охлаждение БЗ.

Чрезвычайные ситуации радиационного характера имеют особую разрушительную силу и долговременные негативные последствия. Для ликвидации указанных чрезвычайных ситуаций важно обеспечить эффективную работу личного состава МЧС России в условиях воздействия ионизирующих излучений. Поэтому разработка методов расчета биологической защиты личного состава МЧС России от внешнего облучения имеет большое практическое значение. Представленные методы расчета БЗ могут служить основой для разработки алгоритма расчета БЗ, реализованного в виде программы для ЭВМ. Программа расчета БЗ позволит производить оперативные расчеты параметров БЗ.

### Литература

1. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2007.
2. Малышев В.А. Защита от ионизирующих излучений. М.: Воениздат, 2013.
3. Грачев Н.Н., Мырова Л.О. Защита человека от опасных излучений. М.: Бином, 2005.
4. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 14.11.2017).
5. Горбунов С.В., Мартыанов С.А., Ермаков С.И. Методические основы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций радиационного характера. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2010.
6. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1995.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Боева Алина Алексеевна** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**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.;

**Дементьев Фёдор Алексеевич** – доц. каф. криминал. и инж.-техн. эксп. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

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

**Иванов Константин Серафимович** – зав. каф. мех. и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ksiva1957@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

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

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

**Кораев Казбек Владимирович** – ст. препод. каф. защ. нас. и тер. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

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

**Кузьмина Татьяна Анатольевна** – науч. сотр. отд. расчет. методов и информ. технол. в экспертизе пожаров 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), тел. (812) 441-07-46 (доб. 6135), e-mail: kuzmina@spbugps.ru, канд. пед. наук;

**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.;

**Медведева Людмила Владимировна** – зав. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: luvlmed@mail.ru, д-р пед. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Медведева Ольга Марленовна** – доц. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Нестеренко Александр Геннадьевич** – проф. каф. защ. нас. и тер. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nestalgenn@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Остудин Никита Вадимович** – ст. инженер отд. мониторинга и прогнозирования ФКУ «ЦУКС Главного управления МЧС России по Псковской области» (г. Псков, Инженерная ул., д. 92), e-mail: ostudin92@mail.ru;

**Отгон Ф.В.** – курсант 5 курса фак-та инж.-техн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Пермяков Алексей Александрович** – ИО зам. нач. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: jouker2005@yandex.ru, канд. пед. наук;

**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.;

**Шидловский Григорий Леонидович** – нач. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Широухов Александр Валерьевич** – зам. нач. каф. мех. и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Хитов Сергей Борисович** – препод. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149).



---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

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

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

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

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

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

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



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

В состав университета входят:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА

## «ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ»

### (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

---

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

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

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

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

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

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

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

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

**3. Оформление текста:**

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

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

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

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

**4. Оформление формул в тексте:**

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

- б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);
- в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

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

- а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в 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.

Пристатейные 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. Грэгдьяну 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)**

**№ 1 (25) – 2018**

Выпускающий редактор П.А. Болотова

---

Подписано в печать 30.03.2018. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. 10,00 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

---

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