

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ**

(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

**NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISKS**

(PHYSICS-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

**№ 1 (13) – 2015**

**Редакционный совет**

**Председатель** – доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Артамонов Владимир Сергеевич**, статс-секретарь – заместитель министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, действительный Государственный советник Российской Федерации I класса, почетный президент Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Заместитель председателя** – доктор технических наук, профессор **Минкин Денис Юрьевич**, 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**, начальник кафедры физики и теплотехники, руководитель учебно-научного комплекса – 6 «Физико-математическое, инженерное и информационное обеспечение безопасности при ЧС».

**Члены редакционного совета:**

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

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физики и теплотехники;

кандидат педагогических наук **Давыдова Любовь Евгеньевна**, проректор университета по платной деятельности – ректор института безопасности жизнедеятельности;

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;

доктор педагогических наук, профессор **Солицев Владимир Олегович**, профессор кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов;

доктор технических наук, доцент **Иванов Александр Юрьевич**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

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

**Секретарь совета:**

кандидат педагогических наук капитан внутренней службы **Балабанов Марк Александрович**, ответственный секретарь редакционного отделения 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** – капитан внутренней службы **Алексеева Людмила Викторовна**, начальник отделения – главный редактор редакционного отделения 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, доцент полковник внутренней службы **Алексеин Евгений Борисович**, заместитель начальника университета – начальник института заочного и дистанционного обучения;

кандидат технических наук, доцент **Романов Николай Николаевич**, доцент кафедры физики и теплотехники;

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

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, технический редактор редакционного отделения центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Секретарь коллегии:**

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



# СОДЕРЖАНИЕ

## МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

<b>Гусев Н.Н., Прозоровская С.Д., Бажухин А.В.</b> Мониторинг технического состояния строительных конструкций и грунтовых оснований зданий и сооружений при возникновении чрезвычайных ситуаций .....	5
<b>Сугак В.П.</b> Проблемные вопросы комплексного исследования устойчивости сложных объектов безопасности .....	9
<b>Лабинский А.Ю., Подружкина Т.А.</b> Оптимизация методом случайного поиска как способ снижения техногенных рисков .....	14
<b>Гвоздик М.И., Антошина Т.Н., Уткин О.В.</b> Когнитивный анализ и оценка рисков с использованием нечетких сетевых формализмов .....	19

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

<b>Коннова Л.А., Котенко П.К., Артамонова Г.К.</b> О проблеме негативного влияния на здоровье военнослужащих и населения применения боеприпасов с обедненным ураном (обзор литературы) .....	27
<b>Баринова Ю.С., Каменецкая Н.В., Калинина Е.С.</b> О возможности применения теории графов для решения ряда задач оптимизации оперативной деятельности подразделений МЧС России .....	39
<b>Иванов К.С., Широухов А.В.</b> Дифференциальные уравнения колебаний элементов базового шасси пожарно-спасательного автомобиля при движении по дорогам .....	44
<b>Маркова Н.Б., Сытдыков М.Р., Поляков А.С.</b> Оценка технической эффективности модулей порошкового тушения применительно к объектам нефтегазового комплекса .....	52
<b>Антонченко В.В.</b> Радиационная обстановка и угрозы радиоактивного загрязнения на Дальнем Востоке России .....	60

## ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

<b>Максимов А.В.</b> Анализ оперативной деятельности подразделений ГПС МЧС России ..	67
<b>Богданова Е.М., Иванов А.Н., Мороз Н.А.</b> Аналитический обзор методов оценки и анализа информации о состоянии резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов .....	73
<b>Воронцова А.А., Кузьмина Т.А.</b> Применение объектно-ориентированного и веб-программирования в судебной нормативной пожарно-технической экспертизе .....	79
<b>Сведения об авторах</b> .....	86
<b>Информационная справка</b> .....	88
<b>Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты)</b> .....	96

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 присыпать 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)

**ISBN 2307-7476**

© Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2015

---

---

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

---

---

## **МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**Н.Н. Гусев, доктор технических наук, профессор.**

**ООО «НПФ «Лидинг», Санкт-Петербург.**

**С.Д. Прозоровская, кандидат педагогических наук, доцент.**

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

**А.В. Бажухин.**

**ООО «Промстандарт», Санкт-Петербург**

Рассматривается современное состояние вопроса в области создания структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Проанализирована работоспособность систем и возможность повышения эффективности их работы при чрезвычайных ситуациях.

*Ключевые слова:* структурированные системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений, средства контроля напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и грунтового основания

## **MONITORING OF TECHNICAL STATE OF BUILDING CONSTRUCTIONS AND SUBGRADE OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN EMERGENCY SITUATIONS**

**N.N. Gusev. LLC «SPC «Liding», Saint-Petersburg.**

**S.D. Prozorovskaya. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.**

**A.B. Bazhuchin. LLC «Promstandart», Saint-Petersburg**

The article discusses the present state in the field of structured systems for monitoring and control of engineering systems of buildings and structures. Analyzed the performance of systems and the ability of improving their performance in emergency situations.

*Keywords:* structured system for monitoring and control of engineering systems of buildings and structures, controls the stress-strain state of the structures and subgrade

Система мониторинга инженерных (несущих) конструкций (СМИК) – подсистема структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС), созданная для контроля изменения состояния оснований, строительных конструкций зданий и сооружений, сооружений инженерной защиты, зон схода селей, оползней, лавин в зоне строительства и эксплуатации объекта мониторинга с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Одной из целей создания СМИК, наряду с предупреждением ЧС в целях недопущения потерь, ущерба здоровью людей, материального ущерба в условиях действия дестабилизирующих факторов, является информационная поддержка принятия решений органами повседневного управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) по предупреждению и ликвидации аварий, ЧС.

Согласно п. 4.9 ГОСТ 22.1.12-2005 [1], системами СМИС (и, в том числе СМИК) в обязательном порядке оснащаются строительные сооружения. Идея создания систем контроля изменения состояния оснований, строительных конструкций, сооружений впервые была реализована на гидротехнических сооружениях в 30-е гг. прошлого века. Основы теории и практики создания таких систем мониторинга (по терминологии гидротехников системы КИА – контрольно-измерительной аппаратуры) были заложены во Всероссийском научно-исследовательском институте гидротехники им. Б.Е. Веденеева, Научно-исследовательском секторе ГИДРОПРОЕКТ им. С.Я. Жука, Московском инженерно-строительном институте им. В.В. Куйбышева, Научно-исследовательском институте ВОДГЕО. Опыт гидротехников был успешно применен при контроле напряженно-деформированного состояния стартовых комплексов космодрома Байконур. Созданные на стартовых сооружениях системы мониторинга получили название систем ИДК (системы испытаний и долговременного контроля). Огромный вклад в теорию и практику систем ИДК внесла Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского [2]. Системы КИА, ИДК и подсистемы СМИК решают схожие задачи с помощью комплектов технических средств.

У гидротехников перечень технических и программных средств мониторинга за состоянием гидротехнических сооружений определен в нормативно-технической документации в зависимости от класса сооружения [3]. Состав комплектов аппаратурных средств ИДК закреплен в Ведомственных нормативных документах. ГОСТ 22.1.12-2005 [1] состав комплектов аппаратурных средств подсистем СМИК не регламентирует, давая его на откуп проектировщикам систем, и носит рекомендательный характер.

Территориальные и ведомственные строительные нормы [4–6] регламентируют включение в состав аппаратурных средств СМИК следующих средств контроля:

- геодезического контроля (осадки, крены, развороты);
- вибрационного контроля (параметры вибраций конструкций и сооружения в целом);
- тензометрического контроля (давление в основании фундаментов, напряжения в бетоне и арматуре).

Средства КИА и ИДК создавались с целью проведения натурных исследований и контрольных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием (НДС) и пространственной стабильностью конструкций в строительный и эксплуатационный периоды, для проверки правильности принятых проектных решений и последующего наблюдения за эксплуатационным состоянием сооружения, то есть не ориентировались на решение конкретной задачи мониторинга безопасности сооружения, тем более в аварийных ситуациях. С вводом в действие ГОСТа 22.1.12-2005 [1] проектировщики подсистем СМИК пошли по пути приспособления существующих первичных преобразователей и вторичной аппаратуры для решения задач в интересах МЧС России, то есть средства приспосабливались для решения задач, а не создавались специально для МЧС России.

Этим обстоятельством обусловлен существенный недостаток, присущий как системам КИА и ИДК, так и СМИК, а именно утрата или отсутствие информации о реакции строительных конструкций и сооружения в целом непосредственно во время аварии. Особенно этот недостаток проявляется при взрывных воздействиях.

Как отмечалось выше, одной из целей создания СМИК является информационная поддержка принятия решений органами повседневного управления РСЧС по предупреждению и ликвидации аварий, ЧС. Для принятия обоснованного решения по ликвидации аварии необходимо знать параметры состояния строительных конструкций и грунтовых оснований зданий и сооружений непосредственно в процессе аварии.

В случае возникновения аварии, сопровождающейся динамическими воздействиями или высокими температурами, как правило, вторичная аппаратура, источники питания и кабельная сеть выходят из строя. Достаточно утратить свою работоспособность хотя бы одному из перечисленных компонентов СМИК, как получение информации от нее прекращается и возобновляется только после проведения ремонтно-восстановительных работ на объекте, на что уходит порой несколько месяцев или лет, причем, как показывает практика, системы мониторинга восстанавливаются в последнюю очередь. Наиболее живучими элементами системы мониторинга являются первичные преобразователи, так как они защищены слоем бетона или грунта.

Непосредственно после аварии, уже на стадии проведения аварийно-спасательных работ и оценки степени повреждения сооружений, остро встает вопрос выявления причин аварии и оценки значений фактических нагрузок, действовавших на сооружения, параметров напряженно деформированного состояния конструкций и грунтового основания в момент аварии. Обоснованная оценка срока безопасной эксплуатации здания или сооружения после аварии возможна только на основе анализа значений нагрузок, действовавших на сооружение, и вызванных ими изменений в напряженно-деформированном состоянии несущих и ограждающих конструкций, а также в их пространственном положении. Наиболее ценной является информация о реакции сооружения именно в момент аварии. Однако, как уже отмечалось, как правило, в момент возникновения аварии система мониторинга утрачивает свою работоспособность.

Определяющим параметром при оценке остаточного эксплуатационного ресурса сооружения является максимальные и минимальные значения напряженно-деформированного состояния конструкций за время действия динамической нагрузки во время аварии, которые как раз остаются незарегистрированными.

Со всей очевидностью встает вопрос создания аппаратурных средств в составе СМИК, которые бы обеспечивали регистрацию и сохранение параметров сооружения непосредственно в момент аварии или как минимум максимальных и минимальных значений этих параметров.

В целях устранения указанного недостатка подсистем СМИК предложено [2] в качестве первичных преобразователей использовать датчики с механическим запоминанием максимальных ( $P_{max}$ ) и минимальных ( $P_{min}$ ) значений измеряемого параметра напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений, то есть гарантированно получать значения  $P_{max}$  и  $P_{min}$  независимо от состояния источников питания в момент аварии.

Измеряемый (контролируемый) параметр напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений ( $P$ ) имеет некоторые максимально и минимально допустимые (предельные) значения соответственно  $P_{pred.}^+$  и  $P_{pred.}^-$  (рис. 1), а за все время эксплуатации здания в штатном режиме максимальные и минимальные значения измеряемого параметра достигали соответственно значений  $P_{max}^l$  до  $P_{min}^l$ .

Тогда в штатном режиме эксплуатации здания или сооружения (на интервале времени  $t < t_1$ ) должны выполняться условия:

$$P_{pred.}^+ > P > P_{pred.}^- ;$$

$$P_{pred.}^+ > P_{max}^l ;$$

$$P_{pred.}^- > P_{min}^l .$$

При возникновении аварии (момент  $t_1$ ) на сооружение начинает действовать динамическая нагрузка, вызывающая изменение измеряемого параметра на интервале времени  $t_1 - t_2$  в диапазоне значений от  $P_{max}^2$  до  $P_{min}^2$ .

В момент времени  $t > t_1$  все элементы системы мониторинга, кроме датчиков, утрачивают свою работоспособность.

Далее на интервале времени  $t > t_2$  действие динамической нагрузки прекращается, хотя некоторое изменение в напряженно-деформированном состоянии и пространственном положении конструкций сооружения могут продолжаться.

К моменту времени  $t_3$  в результате проведения ремонтных работ работоспособность системы мониторинга восстановлена. При использовании традиционных датчиков система мониторинга после восстановления ее работоспособности может показать, что значение контролируемого параметра  $P$  лежит в пределах  $P_{\text{пред.}}^+ > P > P_{\text{пред.}}^-$  (рис. 2) и конструкция находится в работоспособном состоянии. Однако на интервале времени  $t_1 - t_3$  информация отсутствует, в то время как реально под действием динамической нагрузки во время аварии значения контролируемого параметра  $P$  превысили значения  $P_{\text{пред.}}^+$  и  $P_{\text{пред.}}^-$  и достигали значений  $P_{\text{max}}^2$  и  $P_{\text{min}}^2$ .

Следовательно, для получения достоверных значений измеряемого параметра напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений при аварийных ситуациях в качестве первичных преобразователей необходимо использовать датчики с механическим запоминанием максимальных ( $P_{\text{max}}$ ) и минимальных ( $P_{\text{min}}$ ) значений измеряемого параметра в момент аварии с обеспечением возможности регистрации текущего значения измеряемого параметра после восстановления работоспособности системы мониторинга (рис. 1, 2).

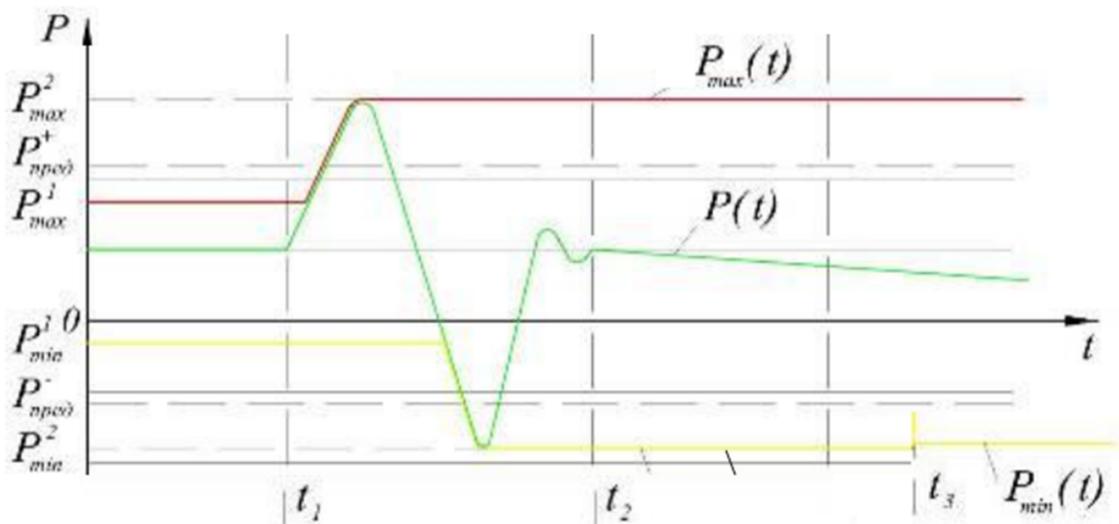


Рис. 1. График изменения измеряемого параметра

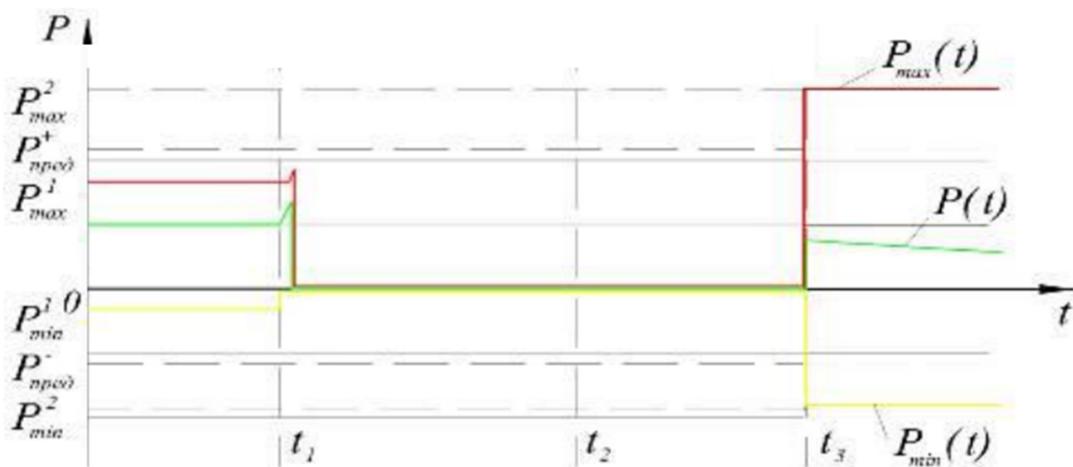


Рис. 2. График изменения значений измеряемого параметра на «выходе» датчика

Технический уровень разработки подтверждается авторским свидетельством на изобретение № 1418582 [7].

### **Литература**

1. ГОСТ 22.1.12–2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2005. 14 с.
2. Гусев Н.Н. Безопасность России // Безопасность строительного комплекса. М.: МГОФ «Знание», 2012. С. 798.
3. Строительные нормы и правила: СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения: нормативно-технический материал. М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2005. 44 с.
4. ТСН 31-332-2006. Жилые и общественные высотные здания. М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2005. 14 с.
5. МРДС 02-08 Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных. М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2008. 63 с.
6. МГСН 4.19-2005 Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий комплексов в городе Москве. М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2008. 33 с.
7. Струнный датчик: пат. 1418582 СССР: МКИ<sup>4</sup> G01L 1/10 / Гусев Н.Н., Бобровников А.М. № 4178597/24-10; заявл. 06.11.86; опубл. 23.08.88, Бюл. № 31 (72). С. 2.
8. Гусев Н.Н. Адаптация существующих систем мониторинга безопасности зданий и сооружений опасных производственных объектов и гидротехнических сооружений к работе в аварийных ситуациях / Н.Н. Гусев // XXI век: Человек. Общество. Наука: сб. научных статей. СПб.: Военная академия связи. СЗФ ВНИИ МВД России, 2007. С. 24–27.

## **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЗОПАСНОСТИ**

**В.П. Сугак, кандидат технических наук, доктор военных наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

С позиций системного подхода рассматривается такое важное понятие, как устойчивость функционирования системы. Отмечаются трудности, связанные с описанием поведения сложных систем и недостаточной формализацией самого понятия устойчивости применительно к подобного рода системам. Предлагается один из возможных подходов к определению основных понятий, касающихся устойчивости функционирования сложных систем в рамках общей теории систем.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, сложная система, устойчивость

## **PROBLEMATIC ISSUES COMPREHENSIVE STUDY STABILITY OF THE COMPLEX SECURITY OBJECTS**

**V.P. Sugak. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

With the system approach is regarded as an important concept, as the sustainability of the system. The difficulties associated with the description of the behavior of complex systems and the lack of formalization of the concepts of sustainability in relation to such systems. One

of the possible approaches to the definition of the basic concepts related to the stability of complex systems in the framework of general systems theory.

*Keywords:* mathematical modeling, a complex system, sustainability

В данной статье рассмотрим понятие устойчивости. Говоря о проблеме устойчивости, авторы статьи «Методологические основы математического моделирования сложных объектов безопасности» [1] довольно упрощенно оперируют этим понятием, утверждают, что «... устойчивость системы является верхней предельной (оптимистической) оценкой ее реальной эффективности», не дают рекомендаций по количественной оценке устойчивости и практическому использованию ее показателей на всех этапах жизненного цикла системы и в различных условиях обстановки, не приводят таких показателей.

В этой связи следует отметить важность применения системного подхода к исследованию основных проблемных вопросов, связанных с устойчивостью.

Как и при рассмотрении понятия эффективности дадим определение устойчивости в широком смысле.

Устойчивость, стабильность (лат. *stabilitas* – устойчивость, прочность, надежность, неизменность) – комплексное свойство системы сохранять свои основные характеристики, свое поведение в условиях возмущающих воздействий различного рода.

В рамках данного широкого понимания устойчивости как более узкие могут рассматриваться такие понятия, как устойчивость равновесия и движения, живучесть, адаптивность, помехоустойчивость, надежность и др. При этом надо понимать, что чем шире понятие, тем меньше возможностей для его формализации. Вместе с тем, опираясь на определение в широком смысле, можно наметить основные варианты его трактовки в узких смыслах и соответствующие пути формализации. Покажем, что именно так обстоит дело с понятием устойчивости [2].

Математическая теория устойчивости имеет два основных взаимосвязанных направления: классическая теория устойчивости [3], сформировавшаяся в работах выдающегося русского ученого А.М. Ляпунова, и теория структурной устойчивости [4], развитие которой началось школой советских специалистов в области теории динамических систем, возглавляемой А.А. Андроновым. Данное направление является обобщением классической теории устойчивости, поскольку если в первой рассматривается устойчивость состояния равновесия или движения конкретной системы, то во второй изучается проблема устойчивости, связанная с изменением структуры системы.

Следует понимать, что оба названных направления в качестве основных используют дифференциальные уравнения динамических систем. С появлением нового класса систем – сложных систем, не укладывающихся в рамки классической теории, проблема устойчивости требует нового подхода и решения. К таким системам относятся, в частности, критически важные и потенциально опасные объекты, системы управления подобными объектами и др.

Поэтому, помимо математического аппарата теории классической и структурной устойчивости, при исследовании данной проблемы в широком смысле может быть применен аппарат теории адаптации, теории возможностей и нечеткого моделирования Л. Заде, теории игр, модели сетей Петри и модели системной динамики. При этом, как показано в работах «Применение математических моделей для обеспечения требуемого уровня устойчивости автоматизированных систем управления потенциально опасных объектов» [5] и «Основы теории построения и контроля сложных систем» [6], конструктивные результаты достигаются при переходе в каждом конкретном исследовании к узкосмысловым трактовкам понятия устойчивости. Получаемые сужения понятия устойчивости в широком смысле могут в свою очередь трактоваться как общенаучные и как частнонаучные в связи с теми или иными приложениями. Они связаны между собой и частично перекрываются по своему содержанию. Чтобы лучше понять связи между этими понятиями, воспользуемся кругами Эйлера (рис.).

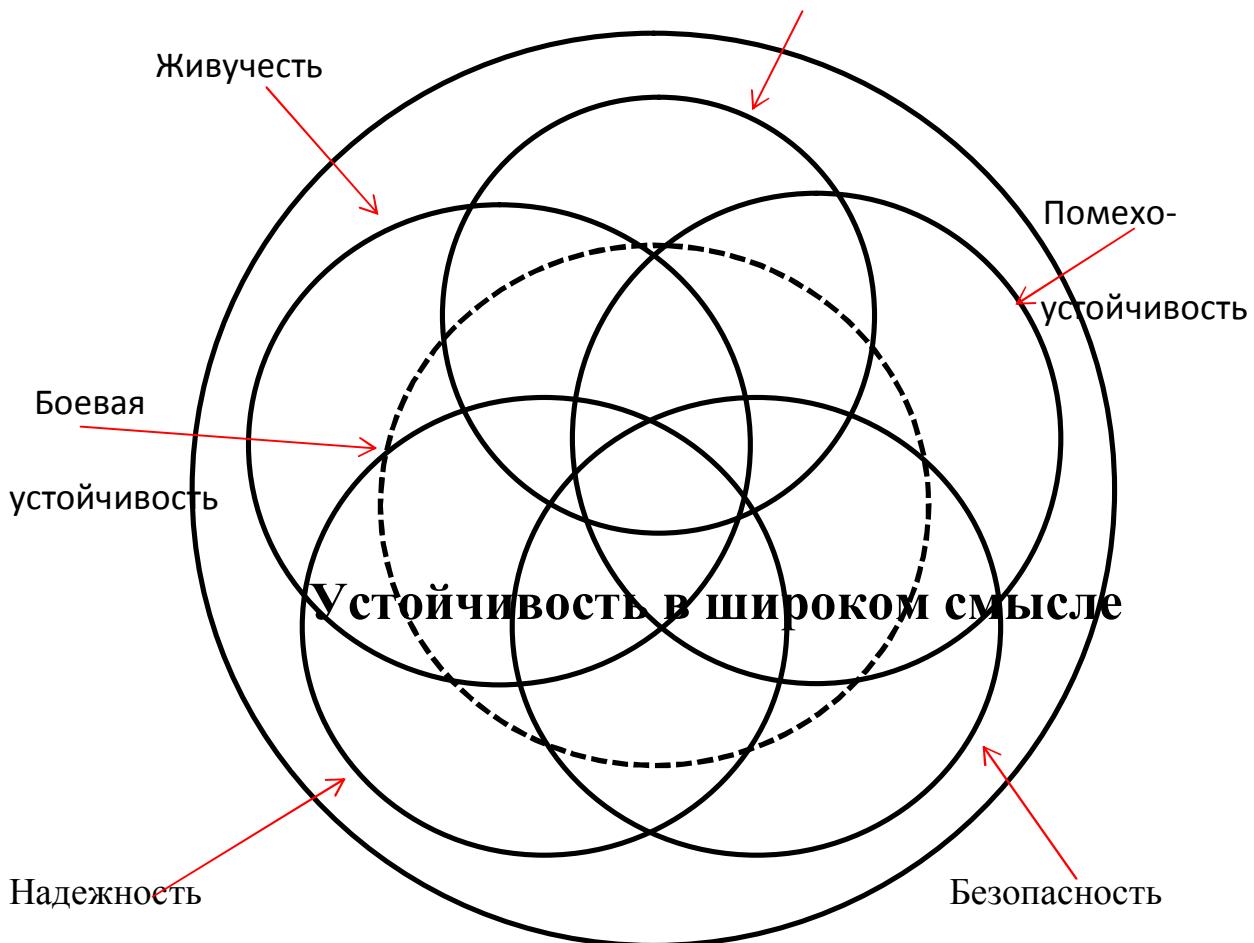


Рис. Представление отношений между понятиями устойчивости

Несмотря на то, что подобного рода диаграмма имеет лишь качественный характер, тем не менее с ее помощью можно отразить имеющуюся информацию об использовании узкосмысловых понятий устойчивости.

Так, например, применительно к вопросам исследования устойчивости управления, прежде всего, следует выделить тот факт, что в любой организационно-технической системе имеют место два взаимосвязанных процесса, один из которых ориентирован на обеспечение и поддержание нормального функционирования самой системы, а другой направлен на реализацию ее возможностей в интересах выполнения целевых задач. Точно также управление силами и средствами МЧС России предполагает в качестве необходимого условия наличие двух сторон этого процесса, связанных непосредственно с материальной основой управления, а также с выработкой и доведением управляющих воздействий по целевому назначению. В этой связи устойчивость управления следует рассматривать в двух аспектах: устойчивость функционирования собственно системы управления и устойчивость процесса управления при выполнении целевых задач. Второй аспект является более общим, так как включает в себя и первый. При этом нужно не забывать, что анализ устойчивости процесса управления выступает составной частью еще более общей задачи – исследования эффективности управления силами и средствами.

Дадим определение устойчивости применительно к указанной предметной области.

Под устойчивостью управления следует понимать свойство системы своевременно вырабатывать и доводить до объектов управления правильные управляющие воздействия в условиях различного рода возмущающих воздействий.

К правильным управляющим воздействиям относятся те, которые отражают сложившуюся обстановку и в целом соответствуют поставленным задачам.

Под своевременностью понимается способность системы управления передавать управляющие воздействия на объект управления не позже заданного момента времени.

Под устойчивостью функционирования системы управления (СУ) понимается ее свойство сохранять свою работоспособность в условиях возмущающих воздействий. Она является комплексной характеристикой, связана со всеми частными характеристиками (свойствами) и определяется живучестью, помехоустойчивостью и надежностью системы.

В качестве пояснения введенных на вербальном уровне определений дадим формализованные определения устойчивости.

Будем предполагать, что на систему управления действуют целенаправленные возмущения  $\Gamma \in \Omega_r$  и случайные неопределенные возмущения  $V \in \Omega_v$ . Функционирование системы управления рассматривается на интервале времени  $\sigma$ , а выполнение системой целевых задач – на интервале  $w = (t_0, t_f) \subset \sigma$ . Состояние системы будем описывать вектором  $S$ . Состояние выполнения целевых задач (ЦЗ) в момент времени  $t$  описывается вектором  $Q(t) \in \pi$ ,  $t \in w$ , где множество  $\pi$  представляет определенную целевую программу, которая должна быть выполнена системой. Выполнение ЦЗ достигается применением на интервале  $w$  объектов управления в соответствии с вектором управления  $U \in \Omega_u$ .

Управление считается устойчивым на интервале  $w$  при случайных и организованных возмущениях, если справедливо:

$$\inf P_v [U(t, U_0, \pi, Q, V, \Gamma, S) \in \Omega_u^+, t \in w] \geq P^+, \Gamma \in \Omega_r.$$

Пусть  $Q = Q(t)$ . Считается, что процесс выполнения системой ЦЗ устойчив (система управления устойчиво функционирует, выполняет ЦЗ в условиях возмущений), если вероятность выполнения ЦЗ системой на  $w$  не менее требуемой вероятности  $P_t$ , то есть:

$$\inf P_v [Q(t, U, V, \Gamma, S) \in \pi, t \in w] \geq P_t, \Gamma \in \Omega_r.$$

Как отмечалось в работе «Применение математических моделей для обеспечения требуемого уровня устойчивости автоматизированных систем управления потенциально опасных объектов» [5], данное определение соответствует определению стохастической устойчивости, характеризует саму систему и процесс ее функционирования в условиях случайных и организованных целенаправленных возмущений.

Введенные определения позволяют дальнейший более глубокий анализ свойства устойчивости. Не повторяя результаты и предложения работы [5], попытаемся еще раз выделить те аспекты и особенности, которые необходимо учитывать, занимаясь исследованием устойчивости систем управления.

Проблема устойчивости появляется (возникает) в том случае, когда в процессе функционирования системы имеют место возмущающие воздействия, которые нарушают нормальную работу системы и снижают ее возможности.

Источниками возмущений могут являться среда, сама система, а также целенаправленное воздействие другой стороны (противника). Возмущение среды связано с различными природными явлениями и геофизическими факторами (наводнения, землетрясения, бури, атмосферные явления и электромагнитные помехи). Сама система выступает в качестве источника возмущений в случае отказов аппаратуры и ошибок личного состава. При этом отказ аппаратуры связан с повреждениями механической и электронной частей, неправильностью программ, искажениями информации в процессе ее сбора, обработки, хранения и доведения до объектов управления. Ошибки личного состава подразделяются на просчеты в действиях расчетов и лиц, принимающих решения. На систему также может оказываться широкий класс целенаправленных воздействий (огневое поражение, радиоэлектронное подавление, психологическое и психотропное воздействие на человека и др.).

Следующим проблемным вопросом, связанным с устойчивостью, является разработка показателей, оценивающих это свойство. Измерить или как-то отразить ее лишь одной характеристикой сложно и не всегда удобно для практического применения. В этой связи целесообразно воспользоваться разработанными в классической теории оценками, к числу которых относятся следующие: момент первого выхода, степень устойчивости, запас и область устойчивости. При этом в основу оценивания устойчивости процесса управления должен быть положен цикл управления со всеми его этапами и особенностями. Для оценивания устойчивости функционирования системы управления следует использовать жизненный цикл (ЖЦ) (табл.).

Таблица. Структура оценивания устойчивости функционирования СУ

Этапы ЖЦ	Предмет оценивания	Субъект оценивания	Цель оценивания	Условия оценивания
Проектирование	Проектируемая система управления	Заказчик	Обоснование общих требований к устойчивости СУ в целом, к подсистемам и видам обеспечения. Выбор путей и способов обеспечения устойчивости	Возможности промышленности по производству технических и программных средств, затраты на создание системы и ее будущую эксплуатацию
Эксплуатация и применение	Принятая на вооружение система управления	Заказчик	Выявление «узких» мест в СУ и формирование требований в процессе модернизации и развития	Состав и характеристики объектов и задач управления, условия применения. Характер возмущающих воздействий. Состояние аппаратных и программных средств
		Пользователь	Выявление возможностей по обеспечению и повышению устойчивости	Состав и характеристики объектов и задач управления, условия применения. Характер возмущающих воздействий. Состояние аппаратных и программных средств
		Служба эксплуатации	Поддержание и восстановление работоспособности, обеспечение устойчивости	Поддержание и восстановление работоспособности, обеспечение устойчивости

Не менее актуальным проблемным вопросом является обеспечение устойчивости. Как отмечено в работе [5], можно выделить технические, структурные, организационные, эргономические и программно-алгоритмические направления обеспечения устойчивости. Каждое из указанных направлений содержит вполне определенную присущую только ему группу способов обеспечения устойчивости. Реализация на практике этих способов требует соответствующее количество материальных, энергетических, информационных и людских ресурсов. Особую значимость для системы управления имеют программно-алгоритмические методы. Алгоритмы и соответствующее им программное обеспечение, их структура и характеристики оказывают определенное влияние на устойчивость процессов функционирования системы. В этой связи возникает новая проблема по обеспечению устойчивости путем выбора соответствующих характеристик комплекса алгоритмов и программ для всех составляющих математического и программного обеспечения. Эта проблема не отрицает традиционных методов, а существенно их дополняет. Программно-алгоритмические методы практически могут быть использованы как на этапе создания системы, так и при ее штатной эксплуатации.

Таким образом, в статье рассмотрены основные проблемные вопросы комплексного исследования устойчивости, приведены соответствующие определения, предложены возможные пути и способы достижения требуемых уровней устойчивости. Необходимость данного подхода обусловлена сложностью этого понятия и его значимостью при решении практических задач в целях повышения эффективности управления.

### **Литература**

1. Богданов А.В., Синещук Ю.И., Малыгин И.Г. Методологические основы математического моделирования сложных объектов безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 3 (27). С. 87–92.
2. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Л.: МО СССР, 1990.
3. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.
5. Сугак В.П. Применение математических моделей для обеспечения требуемого уровня устойчивости автоматизированных систем управления потенциально опасных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2007. № 3–4. С. 119–125.
6. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. Л.: Энергоатомиздат, 1988.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

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

Изложена постановка задачи по созданию математических моделей оптимизации параметров сложных объектов, которые могут использоваться с целью снижения техногенных рисков, связанных с возникновением чрезвычайных ситуаций. Из многообразия математических моделей выбраны модели случайного поиска при наличии ограничений.

**Ключевые слова:** математическая модель, целевая функция, оптимизация с ограничениями, случайный поиск

# RANDOM SEARCH METHOD OF OPTIMIZATION AS THE WAY OF DECREASE OF TECHNOLOGICAL RISKS

A.Yu. Labinsky; T.A. Podruzhkina.

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

In the articles explain problem definition for creation of the random search method mathematical models with the purpose decrease of technological risks to give target of modeling and classification of mathematical models the random search method of optimization of complex objects. To selected mathematical models the random search method of constrained optimization.

*Keywords:* mathematical model, goal function, constrained optimization, random search

Современное направление развития методов анализа сложных явлений и процессов основывается на построении и практической реализации различной степени сложности моделей. Одним из важнейших методологических принципов моделирования сложных явлений и процессов является принцип оптимизации. Данный принцип помогает разработать такое описание исследуемого явления, которое обеспечивало бы заданную точность и достоверность моделирования при минимальных затратах на разработку модели.

Моделирование включает в себя построение математической модели объекта, реализацию данной модели на ЭВМ, проведение на ней серии экспериментов и распространение полученных результатов на исследуемый объект. Классификация методов оптимизации может быть дана по различным признакам [1].

Математической модели сложного объекта присуще множество ограничений в форме равенств и неравенств. Параметры такой модели целесообразно систематизировать, разделив их на следующие группы:

- технологические параметры связей;
- конструктивно-компоновочные параметры узлов и элементов.

К первой группе относятся параметры рабочего процесса объекта. Особенность этих параметров – возможность их систематического изменения в процессе функционирования объекта. Это непрерывно и дискретно изменяющиеся параметры.

Ко второй группе относятся величины, характеризующие конструктивно-компоновочные параметры элементов, составляющих объект, и их взаимное влияние. Изменение этих параметров носит дискретный характер.

Ограничения накладываются на технологические параметры рабочего процесса, исходя из требований длительного и устойчивого функционирования объекта.

Обобщенной математической формулировкой задачи оптимизации характеристик объекта является определение максимума или минимума нелинейной функции (функции качества или целевой функции) вида:

$Q = Q[ X, Y(X), Z, P ]$  при наличии ограничений в виде равенств и неравенств вида:

$$\Phi[ X, Y(X), Z ] = 0; F_{\min} \leq F[ X, Y(X), Z ] \leq F_{\max}; Y_{\min} \leq Y[ X, Y(X), Z ] \leq Y_{\max}.$$

Ограничения на независимые переменные и конструктивные параметры:

$$X_{\min} \leq X \leq X_{\max}; Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max},$$

где  $X$  – независимые переменные;  $Y$  – зависимые переменные;  $Z$  – конструктивные параметры, имеющие непрерывный характер изменения;  $P$  – конструктивные параметры, имеющие дискретный характер изменения;  $F$  – совокупность технологических характеристик элементов объекта;  $\Phi$  – совокупность балансовых уравнений для всех элементов объекта оптимизации.

Таким образом, математическая модель сложного объекта представляет собой совокупность основных и вспомогательных, в общем случае существенно нелинейных, уравнений. При отыскании максимума или минимума целевой функции многих переменных часто получают сложную систему уравнений, явное дифференцирование которых затруднено или невозможно. В этом случае нельзя использовать такие наиболее сильные методы оптимизации, как метод динамического программирования Беллмана [2] и принцип максимума Понтрягина [3]. Принципиальным недостатком аналитического метода множителей Лагранжа [4] является невозможность решения задач, имеющих ограничения не только в форме равенств, но и неравенств. Поэтому задача оптимизации характеристик сложного объекта в общем случае является задачей нелинейного программирования.

Широкое использование ЭВМ стимулировало развитие поисковых методов оптимизации. Однако среди поисковых методов не существует универсального (например, такого как симплекс-метод в линейном программировании [5]), который позволял бы получать оптимальное решение для любой задачи нелинейной оптимизации.

Таким образом, в тех случаях, когда критерий оптимальности или ограничения являются нелинейными функциями, задача оптимизации называется задачей нелинейной оптимизации. В частности, если критерий оптимальности является квадратичной функцией, а ограничения линейные, то такая задача называется задачей квадратичного программирования. Простейшими из нелинейных функций являются выпуклые функции, то есть функции, расположенные ниже любой прямой, соединяющей две точки на ее поверхности. Более общий класс нелинейных функций составляют унимодальные функции, имеющие единственный (локальный) оптимум. Функции, имеющие несколько локальных оптимумов, называются многоэкстремальными функциями.

## Постановка задачи

Задание ограничений на выбор возможных значений оптимизируемых параметров придает задаче поиска оптимума конкретный практический смысл. В задаче оптимизации можно выделить ограничения на значения оптимизируемых параметров (ограничения первого рода) и ограничения на значения функции от оптимизируемых параметров (ограничения второго рода).

Пусть ограничения первого рода заданы в виде:

$$0 \leq X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max},$$

где  $X_i$  – переменные в задаче поиска;  $i = 1, 2, \dots, k$ .

Ограничения второго рода могут иметь следующий вид:

$$G_{s \min}(X_1, X_2, \dots, X_k) \leq G_s(X_1, X_2, \dots, X_k) \leq G_{s \max}(X_1, X_2, \dots, X_k),$$

где  $s = 1, 2, \dots$

Ограничения второго рода иногда удобно записывать в виде:

$$G_s(X) \leq 0.$$

Особенности постановки задачи случайного поиска следующие [6]:

1. Математическая модель представляет собой системы соотношений (формул, уравнений), которая путем задания определенной последовательности действий для каждого вектора  $X$  позволяет вычислить значение целевой функции при наличии заданных ограничений.

2. Целевая функция и ограничения полностью определяются совокупностью значений оптимизируемых параметров (многопараметрическая оптимизация).

3. Математическая модель включает в себя целевую функцию и ограничения, не содержащие случайного фактора.

4. Целевая функция и ограничения неизменны во времени (стационарная задача поиска оптимума).

На практике оптимизируемые параметры могут иметь различный физический смысл и различные числовые значения. Поэтому целесообразно перейти от физических параметров  $X_i$  к безразмерным параметрам  $Z_i$  с помощью следующего линейного преобразования:

$$Z_i = (X_i - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \text{ или } X_i = X_{i\min} + (X_{i\max} - X_{i\min}) * Z_i,$$

где  $0 \leq Z_i \leq 1$ .

Рассмотрим возможную схему поиска оптимума, состоящую из следующих этапов:

1. Задается начальная допустимая точка поиска  $Z(0)$ .
2. Выбирается шаг  $\Delta Z(0)$  из точки  $Z(0)$ .
3. Определяется новая точка поиска  $Z(1) = Z(0) + \Delta Z(0)$ .
4. Оценивается новая точка  $Z(1)$  и т.д.

В результате поиска может быть получена некоторая последовательность точек  $Z(0)$ ,  $Z(1)$ ,  $Z(2)$ , ...,  $Z(n-1)$ ,  $Z(n)$ ,  $Z(n+1)$ . Если в этой последовательности все точки выбраны таким образом, что выполняются ограничения первого и второго рода, то при существенном увеличении количества шагов  $n \rightarrow \infty$  будет получено оптимальное значение  $Z^*$ .

Приведенная выше схема поиска оптимума дает возможность использовать различные алгоритмы, которые могут отличаться выбором направления поиска и величины шага. Априорные сведения о свойствах целевой функции и ограничений позволяют применять эффективные алгоритмы поиска оптимума. В условиях, когда априорных сведений о свойствах целевой функции и ограничений нет, весьма эффективны алгоритмы поиска, основанные на принятии решений на основании случайности [6]. Наиболее распространенными методами случайного поиска являются следующие:

1. Случайный поиск с линейной тактикой:
  - чисто случайная оценка направления спуска;
  - оценка направления по наилучшей случайной пробе;
  - оценка направления методом статистического градиента;
  - ортогонализированный метод статистического градиента.
2. Локальный случайный поиск:
  - спуск с парными пробами;
  - совмещенный спуск;
  - экстраполяционный спуск.

Случайный поиск эффективен при оптимизации объектов большой размерности вдали от экстремума. В обстановке малой размерности ( $k \leq 3$ ) и в районе экстремума целесообразно действовать методами градиентного поиска.

### **Алгоритм поиска оптимума**

Данный алгоритм случайного поиска приведен в работе «Алгоритмы и программы случайного поиска» [7]. Пусть требуется найти минимальное значение целевой функции. Случайный шаг поиска определяется зависимостью:

$$\Delta Z(n) = M * m(n) * E(n),$$

где  $E(n)$  – нормальный случайный вектор, компоненты которого нормальные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;  $M$  – матрица индивидуальных масштабов размером  $k \times k$ , с помощью которой можно влиять на скорость и точность процесса оптимизации,  $m(n)$  – масштаб шага, задаваемый для всех компонент вектора  $\Delta Z(n)$  по формуле:

$$m(n) = \exp(-0,001 * (N^2 + N_{\max}^2 + k^2)),$$

где  $N$  – число неудачных шагов, совершенных из последней опорной точки поиска;  $N_{\max}$  – наибольшее значение числа неудачных шагов, совершенных из какой-либо опорной точки поиска за весь предшествующий период оптимизации;  $k$  – число оптимизируемых параметров.

При таком способе задания случайного шага происходит одновременный выбор направления шага и его величины. На среднее значение модуля шага оказывает влияние только качественная характеристика в приращении целевой функции, так как масштаб шага зависит от знака приращения целевой функции. При положительном значении приращения целевой функции происходит возрастание числа неудачных шагов  $N$  и уменьшение масштаба шага  $m(n)$ .

По мере приближения к точке оптимума  $Z^*$  вероятность удачного шага обычно имеет тенденцию к уменьшению. Зависимость шага поиска от  $N_{\max}$  позволяет уменьшить среднюю длину шага при приближении к точке оптимума. Так как все шаги, совершенные из оптимальной точки  $Z^*$ , будут неудачными, признаком окончания поиска будет служить последовательность неудачных шагов.

Приведенный выше алгоритм поиска оптимума можно усовершенствовать путем учета не только качественного, но и количественного результата шагов в процессе поиска [7]. Тогда случайный шаг поиска можно определить следующим образом:

$$\Delta Z(n) = T(n) + S(n),$$

где  $T(n)$  – регулярная составляющая шага поиска;  $S(n)$  – случайная составляющая шага поиска.

Регулярная составляющая шага поиска может быть определена по зависимости:

$$T(n) = q * \sum_{j=1}^m [1 + (1-j)/m] * \Delta F(n-j) / \Delta F_{cp} * \Delta Z(n-j),$$

где  $\Delta F_{cp} = \sum_{j=1}^m A[j] / \sum_{j=1}^m B[j]$ ;  $q = (1/m) * \sum_{j=1}^m B[j]$ ;  $A[j]$  – матрица, в которой хранятся результаты приращений целевой функции при удачных шагах в последовательности из  $m$  предшествующих шагов;  $B[j]$  – матрица, содержащая информацию об успехе каждого шага в последовательности из последних шагов поиска. Таким образом, каждая компонента регулярной составляющей шага поиска представляет собой сумму компонент  $m$  предшествующих шагов, взятых с учетом относительной эффективности шага  $\Delta F(n-j) / \Delta F_{cp}$ , удаленности шага от оптимума  $1 + (1-j)/m$  и успеха шага.

Случайная составляющая шага поиска может быть определена по зависимости:

$$S(n) = (1 - q) * M * m(n) * E(n),$$

где величины  $M$ ,  $m(n)$  и  $E(n)$  имеют тот же смысл, что и в первом алгоритме поиска, приведенном выше. Величина  $q$  определяет соотношение между регулярной и случайной составляющими шага поиска  $\Delta Z(n)$ . Если все  $m$  шагов неудачны, то в определении шага

$\Delta Z(n)$  участвует только случайная составляющая  $S(n)$ , а если все шаги удачны, то только регулярная составляющая  $T(n)$ .

Программа поиска оптимума по приведенным выше алгоритмам должна содержать операторы перехода от безразмерных параметров  $Z_i$  к оптимизируемым параметрам  $X_i$ , вычисления ограничений второго рода и целевой функции.

Во многих случаях выбора оптимального решения одного нахождения оптимальной точки недостаточно. Нужно знать, как ведет себя целевая функция в соседних с оптимальной точках. Поэтому желательно предусмотреть изучение поведения целевой функции при отклонении значений параметров от оптимальных.

Методы прямого поиска используют информацию только о значениях целевой функции и функций ограничений задачи оптимизации. Они широко распространены на практике, потому что не требуют от функций задачи почти никаких свойств, надежны и допускают простую реализацию. Поэтому методы прямого поиска, например приведенный метод случайного поиска, могут с успехом использоваться для оптимизации математических моделей сложных объектов.

### **Литература**

1. Химмельбау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Иностранная литература, 1960.
3. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понtryгин [и др.]. М.: Наука, 1969.
4. Численные методы условной оптимизации / под ред. Ф. Гилл, У. Мюррей. М.: Мир, 1977.
5. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. М.: Наука, 1969.
6. Расстригин Л.А. Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968.
7. Алгоритмы и программы случайного поиска / под ред. Л.А. Расстригина. Рига: Зинатне, 1969.

## **КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ СЕТЕВЫХ ФОРМАЛИЗМОВ**

**М.И. Гвоздик, кандидат технических наук, профессор;**

**Т.Н. Антошина, кандидат педагогических наук, доцент;**

**О.В. Уткин.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Оценка рисков и управление риском является важнейшей в комплексной проблеме разработки систем поддержки принятия решений для управления в условиях чрезвычайной ситуации. Предлагается метод когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов. Рассмотрен подход к разработке системы когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов, которая позволяет оценить существующие и потенциальные риски неблагоприятных ситуаций.

**Ключевые слова:** оценка рисков, поддержка принятия решений, когнитивный анализ, нечеткие сетевые формализмы

# COGNITIVE ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT USING FUZZY NETWORK FORMALISMS

M.I. Gvozdik; T.N. Antoshina; O.V. Utkin.

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

Risk assessment and risk management is crucial in the development of decision support systems for the management of emergency situations. A method for cognitive analysis and risk assessment using fuzzy network formalisms. Considered approach to the development of cognitive analysis and risk assessment using fuzzy formalisms, which allows the network to evaluate existing and potential risks of adverse situations.

*Keywords:* risk assessment, decision support, cognitive analysis, fuzzy formalisms network

Чрезвычайные ситуации (ЧС) всегда представляли и в обозримом будущем будут представлять существенную угрозу для населения Российской Федерации и человечества в целом. Оценка риска и управление риском ЧС включает в себя комплекс научных, научно-технических, организационных и иных мероприятий, направленных на разработку и эффективное внедрение новых знаний, техники и технологий для решения проблем снижения риска ЧС и смягчения их последствий.

## Иерархическое оценивание риска

В модели иерархического оценивания риска риск представлен в виде дерева критериев, полученного путем декомпозиции на критерии более частного характера. Иерархия строится методом структурной декомпозиции, сформулированной экспертом цели «сверху вниз», и заканчивается, когда определен уровень далее не декомпозируемых листовых критериев  $k_1, \dots, k_n$  [1].

Относительную важность критериев в иерархической структуре определяют как веса всех листовых критериев  $v_i$ , где  $v_i \in [0, 1]$ ,  $\sum_i v_i = 1$ , с помощью экспертной процедуры парного сравнения, нечеткого парного сравнения.

Ниже критериев следует уровень альтернатив  $A = \{A^J\}$ ,  $J = 1, M$ , каждая из которых определяет риски, характеризующиеся набором свойств (атрибутов), совпадающих с названиями листовых критериев  $k_i$ . Для нахождения наилучшей альтернативы  $A^J \in A$  сравниваются пары альтернатив  $A^J$  по каждому листовому критерию, что позволяет представить каждую альтернативу в виде вектора  $A^J = (y_{k_1}^J, \dots, y_{k_n}^J)$ , где  $y_{k_i}^J \in [0, 1]$  – оценка интенсивности проявления свойства альтернативы  $A^J$ , совпадающего с названием критерия  $k_i$ .

Для оценки риска каждой альтернативой используется функция  $F : (A^J, v_i) \rightarrow \mathbf{R}$ ,  $i \in [1, n]$ , где  $v_i$  – веса листовых критериев в иерархической модели,  $A^J \in A$ ,  $J = \overline{1, M}$ . Оценка достижимости цели для альтернативы  $A^J$  имеет вид линейной свертки:

$$F(A^J, v_i) = \sum_{i=1}^n y_{k_i}^J v_i .$$

## Интегрированная модель оценки риска

Для повышения качества оценки риска в динамических ситуациях необходимо уменьшить субъективную составляющую прогнозов развития ситуации, получаемых экспертным способом. Уменьшение ошибки при экспертном прогнозировании риска могут быть получены при использовании для получения прогнозов когнитивных карт.

На рис. 1 и 2 показан классический подход оценивания риска при использовании альтернатив Т. Саати и предлагаемый когнитивный подход. В подходе Т. Саати (рис. 1) сгенерированные экспертом альтернативы попарно сравниваются по всем критериям.

В предлагаемой модели (рис. 2) построена когнитивная карта ситуации, факторы которой связываются с близкими по смыслу листовыми критериями. Эксперт генерирует альтернативы, а прогнозы их применения, получаемые с помощью когнитивной модели, автоматически передаются для оценки в оценочную иерархию. В отличие от классического подхода, число альтернатив в этом случае неограниченно, а добавление новой альтернативы не добавляет экспертной работы.

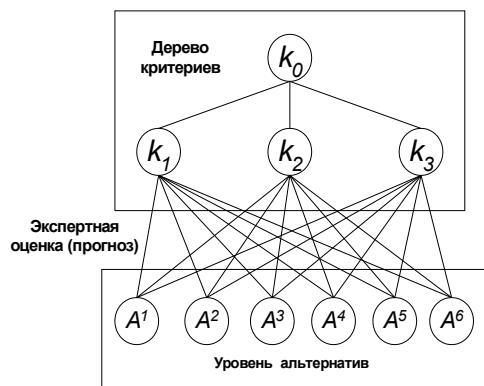


Рис. 1. Подход Т. Саати

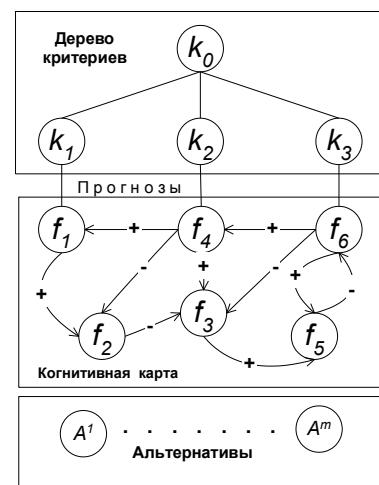


Рис. 2. Когнитивная карта ситуации

Предлагаемый подход требует разработки методов создания когнитивной модели, построения шкал листовых критериев и учета влияния консонансов значений факторов когнитивной модели на оценку риска в иерархической модели.

### Классическое построение когнитивной карты

Для оценки риска с использованием предлагаемого подхода необходимо представить модель проблемной области в виде когнитивной карты, которая должна включать факторы, близкие по смыслу листовым критериям.

Когнитивные карты – это разновидность математических моделей для формализации описания сложного объекта, проблемы или функционирования системы и выявления причинно-следственных связей между их элементами в результате воздействия на эти элементы или изменения характера связей. Когнитивные карты представляют моделируемую систему в виде множества концептов, отображающих ее объекты или атрибуты, связанных между собой отношениями влияния или причинно-следственными связями [2].

Существующая в настоящее время методология построения когнитивных карт ориентирована на построение концептуальных моделей, отражающих наиболее общие законы развития и управления ситуацией. Для решения проблемы интеграции когнитивной модели и иерархической модели можно использовать системную методологию построения

когнитивной карты ситуации (Кулинич, 2003), основанную на структурно-функциональной декомпозиции ситуации и описании ее в структурном и функциональном аспектах. При структурной декомпозиции определяются основные характеристики  $F_i = \{f_{ij}\}$  всех элементов ситуации  $d_i$ . Далее для каждого элемента ситуации  $d_i \in D$  строятся когнитивные карты:  $(F_i, W_i)$ , где  $F_i = \{f_{ij}\}$  факторы элемента  $d_i$ ,  $W_i$  – матрица смежности графа, отражающая знания о законах функционирования элемента ситуации  $d_i$ . Когнитивные карты отдельных элементов объединяются в когнитивную карту сложной ситуации  $(F, W)$ , где  $F = \cup F_i$  – множество факторов – факторов ситуации;  $W$  – матрица смежности орграфа, описывающая сложную ситуацию и включающая матрицы  $W_i$  отдельных элементов ситуации и связи между ними. Построение когнитивной карты на основе такой методологии позволяет разработать когнитивную карту близкую по уровню детализации описания к уровню детализации описания ситуации в модели иерархического оценивания.

### Нечеткие когнитивные карты

Введенная в работе «Модель оценки альтернатив управления слабоструктурированными динамическими ситуациями» [2], нечеткая лингвистическая когнитивная карта является самым общим формализмом, использование которого позволит более тонко и многогранно оценить риск.

Нечеткой лингвистической когнитивной картой (НЛКК) называют когнитивную карту, состояния концептов которой и влияния между ними задаются лингвистическими терм-множествами.

Каждый концепт  $K_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) описывается соответствующей лингвистической переменной  $\langle \tilde{K}_i, T_i, D_i \rangle$ , где  $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$  – терм-множество лингвистической переменной (набор лингвистических значений концепта, характеризующих его типовые состояния);  $m_i$  – число типовых состояний данного концепта;  $D_i$  – базовое множество  $\tilde{K}_i$ . Для описания термов  $T_z^i$  ( $z \in Z = \{1, 2, \dots, m_i\}$ ), соответствующих типовым состояниям (значениям) концепта  $K_i$ , используются нечеткие переменные  $\langle T_z^i, D_i, \tilde{C}_z^i \rangle$ , то есть значение  $T_z^i$  описывается нечетким множеством  $\tilde{C}_z^i$  в базовом множестве  $D_i$ :

$$\tilde{C}_z^i = \{\langle \mu_{C_z^i}(d)/d \rangle\}, \quad d \in D_i.$$

Веса влияния между типовыми состояниями каждой пары концептов нечеткой лингвистической когнитивной карты задаются нечеткими переменными  $\langle T_{zl}^{w_{ij}}, D_{w_{ij}}, \tilde{H}_{zl}^{w_{ij}} \rangle$ , которые описываются нечеткими множествами  $\tilde{H}_{zl}^{w_{ij}}$  в базовом множестве  $D_{w_{ij}}$  ( $K_i, K_j \in \mathbf{K}, z \in Z = \{1, 2, \dots, m_i\}, l \in L = \{1, 2, \dots, m_j\}$ ) следующего вида:

$$\tilde{H}_{zl}^{w_{ij}} = \{\langle \mu_{H_{zl}^{w_{ij}}}(d)/d \rangle\}, \quad d \in D_{w_{ij}}.$$

На рис. 3 показан пример структуры НЛКК.

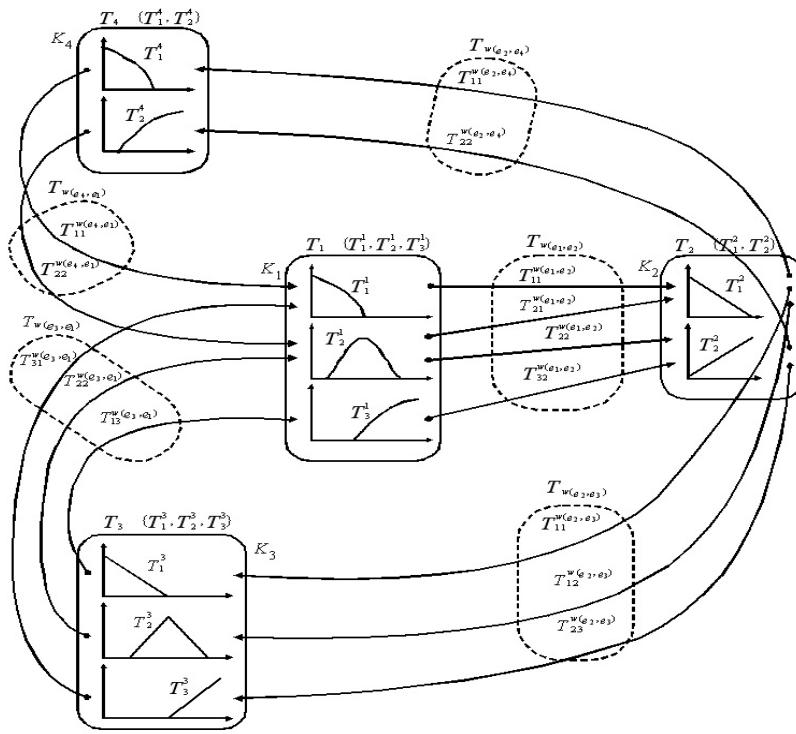


Рис. 3. Пример структуры нечеткой лингвистической когнитивной карты

Реализация оценки риска, анализ влияния различных факторов основаны на компьютерном моделировании динамики когнитивной карты. В указанной работе предложен метод анализа динамики НЛКК и алгоритм его реализации.

Формально любая когнитивная карта (и НЛКК) может быть представлена графом, при этом каждая дуга в этом графе представляет некую функциональную зависимость между соответствующими базисными факторами, то есть когнитивная модель ситуации представляется функциональным графом. Это позволяет использовать соответствующие сетевые формализмы (сети Петри, Е-сети и их различные обобщения).

### Сетевые формализмы для представления НЛКК

Предлагается для описания НЛКК использовать обобщение сетей Петри – G-сети.

G-сеть определяется как  $S=(P, T, K)$ , где  $P = \bigcup_{i=1}^I p^i$ ,  $P^i = (p_1^i, p_2^i, \dots, p_n^i)$  – конечное множество позиций  $i$ -типа;  $I$  – количество типов позиций,  $I, n \geq 0$ ;  $T = \bigcup_{j=1}^J T^j$ ,  $T^j = (t_1^j, t_2^j, \dots, t_m^j)$  – конечное множество переходов;  $J, m \geq 0$ ;  $P \cap T = \emptyset$ ;  $K: P \times T \cup T \times P \rightarrow N$  – отношение инцидентности. Структура G-сети подобна структуре ординарной сети Петри, то есть каждый переход и позиция связаны не более чем одной дугой. В то же время принципиальным отличием является наличие различных типов позиций и переходов. Не трудно видеть, что структура G-сети полностью соответствует классическому определению сети.

Для более детального описания разнообразных свойств объектов и отношений между ними в сетевых моделях, а также различных качеств составных элементов, добавим в G-сети математические модели всех отдельных элементов, то есть всем позициям и переходам G-сети поставим в соответствие некоторые математические структуры.

Указанные математические структуры определяются на основании анализа свойств объектов и отношений между ними.

Можно предложить для каждой позиции и перехода свою математическую структуру в соответствии со свойствами объекта исследования, учитываемыми при разработке модели. При этом математическая структура позиции передает все свои свойства маркерам, находящимся в данной позиции, а математическая структура перехода передает все свои свойства соответствующему обобщенному оператору перехода.

Каждая позиция G-сети любого типа маркируется некоторым количеством маркеров. При этом маркерами являются слова над некоторым алфавитом, а правила срабатывания переходов описываются правилами вывода абстрактной формальной системы, например, нормальной канонической системы.

Маркировка  $M$  G-сети представляет собой вектор маркировок каждой позиции. Пусть маркерами в G-сети являются слова, составленные из символов алфавита  $A$ , а маркировка  $M$  определяется как отображение:

$$P \rightarrow (A^*)^{\oplus}, \text{ где } (A^*)^{\oplus} = A^* \times A^* \times A^* \times \dots$$

Маркировка G-сети может изменяться посредством выполнения переходов. Выполнение перехода состоит из удаления одного или нескольких маркеров из каждой входной позиции и добавления одного или нескольких маркеров в каждую выходную позицию. Переход может выполниться, только если он возбужден, условия возбуждения зависят от его типа и вида маркеров, находящихся во входных позициях, в рамках принятой абстрактной формальной системы. Выполнения переходов образуют работу сети.

Вид и количество удаляемых и добавляемых маркеров определяется с помощью правил абстрактной формальной системы, которые не без некоторой утраты общности, для одного маркера могут быть подобны продукциям в системе Поста, что позволяет каждое правило представить как несколько продуктов, которые имеют несколько левых частей и несколько правых. В остальном они подобны.

В этом случае правила срабатывания переходов удобно представлять в виде таблицы, состоящей из  $k+v$  столбцов и  $g$  строк, где  $k$  – количество входных позиций перехода;  $v$  – количество выходных позиций;  $g$  – количество различных правил срабатывания одного перехода. Применение таблицы заключается в том, что каждая строка рассматривается как одно из правил срабатывания. Стока в свою очередь может интерпретироваться элементами некоторой абстрактной формальной системы, например, для наглядности, как составная продукция в системе Поста. Каждой входной позиции соответствует одна из левых частей продукции, а каждой выходной позиции – одна из правых частей.

Левая часть продукции применяется к маркерам, находящимся во входных позициях. При этом если в позиции содержится более одного маркера, то продукция применяется к любому из тех, который ей удовлетворяет. Так, левая часть составной продукции применяется ко всем входным позициям. Если в текущей маркировке отсутствует такая комбинация маркеров, которая удовлетворяет левой части первой продукции, то применяется следующая (если она имеется). Если достигнут конец таблицы, то переход не является возбужденным. Заметим здесь, что правила возбуждения перехода G-сети являются усилением правил возбуждения переходов в простой сети Петри, так как при отсутствии маркера в позиции продукция не применяется.

Отсутствие маркера обозначается в маркировке пустым символом  $A$ . Перед началом выполнения G-сети она имеет маркировку  $M$ , которая называется начальной. Маркированная G-сеть – это набор  $(P, T, K, A, \Gamma, M)$ .  $A = (a_g)$  – алфавит сети,  $\Gamma = (\gamma^i \rightarrow \gamma^j)$  – множество продуктов. Если после выполнения перехода  $t_k$  маркировка  $M_k$  изменяется на маркировку  $M_{k+1}$ , то  $M_{k+1}$  называется непосредственно достижимой из  $M_k$ , что обозначается  $M_k \xrightarrow{t} M_{k+1}$ . Транзитивное замыкание отношения непосредственной достижимости образует отношение достижимости. Множество всех маркировок G-сети, достижимых из маркировки  $M$ , обозначается  $R(C, M)$ . Выполнение сети, то есть процесс смены маркировок, можно представить в общем виде гиперграфом достижимости. В нашем случае – это

ориентированный граф, множеством вершин которого является  $R(C, M)$ , дуга  $(M_1, M_2)$ , помеченная символом  $t$ , принадлежит графу тогда и только тогда, когда  $M_1 \xrightarrow{t} M_2$ . Граф достижимых маркировок  $G$ -сети может быть бесконечным.

$G$ -сети, так же как сети Петри и их различные расширения и обобщения, можно подвергнуть формальному анализу. Однако в общем виде можно получить лишь самые общие результаты, использование которых в прикладных исследованиях затруднительно. В то же время можно выделить некоторые классы  $G$ -сетей, формальный анализ которых позволяет получить ряд полезных свойств, обеспечивающих, прежде всего, обоснованность их применения для разработки моделей в интересах исследовательских испытаний.

Среди возможных различных классов  $G$ -сетей выделим следующие:

- $G^*$  –  $G$ -сеть с одним типом переходов, одним типом позиций и продукциями Поста;
- $G_P$  –  $G$ -сеть с различными типами позиций и одним типом переходов;
- $G_T$  –  $G$ -сеть с различными типами переходов и одним типом позиций;
- $G_S$  – стохастическая  $G$ -сеть;
- $G_F$  – нечеткая  $G$ -сеть;
- $G_H$  – иерархическая  $G$ -сеть.

### **$G_F$ – нечеткая $G$ -сеть**

Рассмотрим  $G_F$  – нечеткую  $G$ -сеть. Для реализации возможности работы с нечеткими величинами и нечеткой логикой в рамках  $G$ -сети следует рассмотреть функционирование управляющих переходов в этих условиях.

Управляющие переходы  $G$ -сети дают возможность исследовать процессы управления потоками данных, приоритетности в обработке информации, исходя из значений управляющего предиката для оценки риска.

При исследовании мультиагентного управления, оценке его эффективности и количественных характеристиках, места в переходах представляют собой возможные состояния управляемой сети, а предикаты – значения управляющих воздействий агентов. При условии наличия нечеткости в логике работы агентов возникает проблема адаптации аппарата  $G$ -сетей, а именно их управляющих переходов, к введению нечеткой логики. Условие адаптации нечеткой логики к теории  $G$ -сетей является необходимым для использования данного аппарата при моделировании работы нечетких мультиагентных сетей. Для доказательства возможности использования нечеткой логики в управляющих переходах  $G$ -сетей необходимо показать, что ее введение не изменит основных правил работы перехода, таких как условие активности перехода, функция перехода.

Условие активности перехода при введении нечеткой логики в работу перехода не отличается от классического: переход считается активным, если входное место  $r_1$  имеет метку, а все некоторые выходные места  $r_k$  пусты.

В качестве функции перехода возможно использовать трапециевидный вид функции принадлежности, графически это выглядит так (рис. 4):

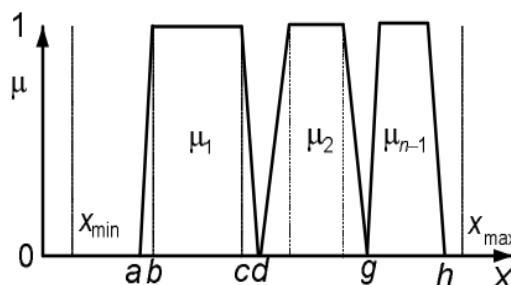


Рис. 4. **Функция перехода**

Используя общепринятые методы работы с функциями принадлежности в рамках нечеткой логики [4], функции переходов вычисляются сравнительно просто и понятен их расчет, например в среде Mathlab Fuzzy Logic Toolbox.

В результате проведенного анализа могут быть сформулированы основные правила работы управляющих переходов с нечеткостью в их предикатах, что дает возможность создавать модели оценки риска, включающие в себя элементы нечеткой логики.

### **Особенности построения системы когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов**

Предлагается подход к разработке системы когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов, которая позволяет оценить существующие и потенциальные риски неблагоприятных ситуаций.

Разработана аналитическая часть системы, состоящая из двух основных частей: блок начальной подготовки данных для анализа, блок формализации и анализа знаний.

Блок начальной подготовки данных для анализа отвечает за подготовку множества данных для анализа и определения атрибутов, по которым будет производиться анализ. Основным этапом является перевод исследуемых данных в числовые и нормирования числовых данных путем их взвешивания. Взвешивание производится экспертом, путем присваивания числовых значений атрибутам. Исследуемые числовые данные необходимо нормировать, чтобы каждый из атрибутов имел равный вес при сравнении. Также необходимо учитывать и вес атрибута относительно других атрибутов для правильного нормирования.

Блок формализации и анализа знаний обеспечивает формализацию, сохранение и использование банка знаний для оценки риска, а также для формирования начальной структуры предметных областей, моделей объекта управления и в целом базы знаний. Основой данного блока является когнитивные карты, использующие нечеткие сетевые формализмы. Блок позволяет выявлять, ранжировать и согласовывать экспертные представления различных специалистов.

### **Выводы**

Приведены основные результаты исследований, рассмотрен подход к разработке системы когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов, который позволяет оценить существующие и потенциальные риски неблагоприятных ситуаций.

Система когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов включает модель иерархического оценивания рисков в виде когнитивной карты специального вида.

Предложен подход к разработке системы когнитивного анализа и оценки рисков с использованием нечетких сетевых формализмов, которая позволяет оценить существующие и потенциальные риски неблагоприятных ситуаций.

Разработана аналитическая часть системы, состоящая из двух основных частей: блок начальной подготовки данных для анализа, блок формализации и анализа знаний.

### **Литература**

1. Кулинич А.А., Титова Н.В. Модель оценки альтернатив управления слабоструктурированными динамическими ситуациями. М.: Физматлит, 2006. С. 348–356.
2. Федулов А.С., Борисов В.В., Круглов В.В. Нечеткие модели и сети М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с.
3. Буханько А.Н., Дуравкин Е.В. Применение нечеткой логики в управляющих переходах Е-сетей // Системы обработки информации. 2008. Вып. 3 (70).
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 725 с.

---

---

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

---

---

## **О ПРОБЛЕМЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ И НАСЕЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ С ОБЕДНЕННЫМ УРАНОМ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

**Л.А. Коннова, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации.**

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

**П.К. Котенко, доктор медицинских наук, профессор.**

**Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России.**

**Г.К. Артамонова, доктор юридических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен информационно-аналитический обзор открытых научных источников, посвященных негативным для населения и военнослужащих последствиям применения боеприпасов с обедненным ураном. Рассматривается комплекс возможных этиологических факторов синдрома войны в Персидском заливе, Балканского синдрома, роста заболеваний среди жителей пострадавших территорий и ветеранов этих войн. Отмечена необходимость продолжения исследований по изучению отдаленных последствий применения такого оружия.

*Ключевые слова:* обедненный уран, боеприпасы с обедненным ураном, военные синдромы, синдром Персидского залива, Балканский синдром

## **ABOUT THE PROBLEM OF NEGATIVE EFFECTS FOR THE HEALTH OF SOLDIERY AND POPULATION OF APPLICATION OF WEAPON WITH DEPLETED URANIUM**

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

P.K. Kotenko. Nikiforov Russian Center of emergency and radiation medicine of EMERCOM of Russia.

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

Review of literature on the dangers of weapons with depleted uranium to health. Discusses the role of depleted uranium in the development of the Gulf War syndrome and Balkan syndrome. Discusses experimental data on the effects of depleted uranium on the body and the role of depleted uranium in the development of leukemia.

*Keywords:* depleted uranium, weapon with depleted uranium, military syndrome, Gulf War syndrome, Balkan syndrome

Постоянное расширение спектра техногенных факторов, загрязняющих окружающую среду и негативно влияющих на здоровье населения, является одной из актуальных проблем современного мира [1, 2]. В результате внедрения новых технологий и материалов как в мирные, так и военные сферы деятельности, со второй половины прошлого столетия расширился круг проблем, касающихся безопасности применения современного оружия. Кроме негативных последствий применения химического и ядерного оружия, появились новые вопросы, на которые нет однозначного ответа. Особое внимание специалистов и общественности вызвало оружие с обедненным ураном (ОУ), которое армия США применила в Ираке и в Югославии [3, 4]. Внимание со стороны общественности объясняется исторически сложившимся восприятием слова «уран», которое ассоциируется у населения с атомным оружием и трагическими последствиями его применения в г. Хиросиме и г. Нагасаки [5].

Внимание медицинских специалистов связано с появлением новых «военных синдромов» (ВС), не наблюдавшихся во время ведения предыдущих войн. ВС являются одним из медицинских последствий войны. Истории и описанию таких синдромов более чем за 100 предыдущих лет посвящен обзор К.С. Nyams и соавторов [6]. Военный синдром представляет собой комплекс психосоматических симптомов, которые возникают во время конфликтов и войн у участников боевых действий, и суть которых остается до сих пор мало понятной. В Первую мировую войну серьезную проблему для войск Антанты представлял синдром Da Costa (нейроциркулярная астения) и траншейный шок, что объясняли нормальной реакцией на экстремальные воздействия. Реабилитация проводилась в сжатые сроки в военных подразделениях. Во время Второй мировой войны ВС напряжения встречался в британских войсках и считался неврозом, а не соматическим заболеванием. Более детально были изучены психологические стрессовые реакции, которые сопровождались соматическими симптомами: слабостью, головной болью, диареей. Последствием Вьетнамской войны стал посттравматический стрессовый синдром «Post traumatic stress disorder», который Американская психиатрическая ассоциация определила как «психическую травму, вызванную событиями, лежащими за пределами нормального человеческого опыта».

Боевые действия стран НАТО в Персидском заливе в 1991 г. стали причиной появления «Синдрома Персидского залива» (СПЗ). У военнослужащих США, Великобритании и Канады после окончания военных действий развивался комплекс симптомов: головная боль, повышенная утомляемость, боли в мышцах и суставах, диарея, кожные высыпания, одышка, боль в грудной клетке в сочетании с нарушениями сна, концентрации внимания, расстройствами памяти и депрессивными нарушениями при отсутствии физикальных и лабораторных признаков. По данным, приведенным А. Durakovic, у каждого пятого ветерана-участника боевых действий со стороны антииракской коалиции наблюдался СПЗ [7]. СПЗ пополнил список ВС, поскольку во время Второй мировой войны симптомокомплекса, подобного СПЗ, среди военнослужащих США и Великобритании не наблюдалось [6].

После первого применения в 1991 г. армией США в Персидском заливе боеприпасов, содержащих ОУ, в средствах массовой информации (СМИ) развернулось широкое обсуждение опасности применения такого оружия для окружающей среды и здоровья населения, проживающего в пострадавших регионах. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) организовало ряд комиссий по изучению радиологических последствий на территориях, подвергшихся бомбардировкам. В опубликованных докладах и отчетах комиссий четкого ответа о причине развития СПЗ нет [3]. После военных операций США «Щит в пустыне» и «Буря в пустыне» в 1990–1991 гг. новый ВС – синдром Персидского залива – был зарегистрирован сразу после окончания военных действий у 80 тыс. военнослужащих США и 12 тыс. военнослужащих Великобритании. В связи с применением оружия, содержащего ОУ, мировая общественность связала появление СПЗ с применением нового оружия, которое содержит обедненный уран. Реакция мировой общественности была крайне негативной, поскольку понятие «уран» ассоциируется с атомным оружием. К изучению причин массового заболевания военнослужащих были привлечены ведущие

специалисты в области экспериментальной и клинической медицины, радиобиологии, военные химики, экологи, токсикологи и т.д. Проблема СПЗ стала для США и Великобритании проблемой государственной важности. Министерства обороны и здравоохранения работали по специальным программам, исследовалось и обсуждалось множество причин. Результаты радиологических, токсикологических, клинических и экспериментальных исследований по проблеме СПЗ обобщены в 9 томах, изданных академией наук США, последний из которых опубликован в 2013 г. [8]. Но проблема до сих пор остается открытой.

Первоначально СПЗ пытались объяснить негативным воздействием других факторов, к которым отнесли иракские пески, пропитанные нефтью; ядовитый дым горящей нефти; пестициды, которые использовались для защиты от комаров и растворами которых пропитывали палатки и одежду военнослужащих; бромид пиридостигмин – препарат, применяющийся на случай использования химического оружия; некачественные вакцины и лекарственные препараты, которые солдаты принимали для защиты от возможного применения биологического и химического оружия. Работы по исследованию этих факторов обобщены в Первом томе публикаций академии наук США, посвященных заболеваниям, связанным с военными действиями в Персидском заливе [9]. Предположение о роли прививок в развитии СПЗ возникло после выяснения плохого качества вакцин и отсутствия синдрома у французских участников войны, командование которых категорически отказалось от проведения прививок.

При повторном применении армией США боеприпасов с ОУ в войне с Югославией появился военный синдром, который был назван «Балканским синдромом» (БС). Для него характерен тот же комплекс симптомов, что и для СПЗ: боль в мышцах и суставах, хроническая усталость, расстройство психики. К этому добавилась информация о случаях проявления признаков лучевого поражения у военных – участников боевых действий и у военнослужащих миротворческих сил, которые несли службу рядом с пострадавшими от бомбёжек территориями. Первые сообщения о том, что среди военнослужащих НАТО, участвовавших в военных действиях в Югославии, наблюдаются признаки лучевого воздействия, для специалистов показались странными. Последствия контакта с обычным ОУ вряд ли могли проявиться так быстро и в таких масштабах. Подобные признаки возможны либо в случае присутствия примесей других изотопов, либо в результате образования продуктов взрыва, воздействие которых на человека остается неизвестным. В результате интерес к биологическим эффектам обедненного урана и продуктов взрыва значительно вырос. Опубликованные результаты медико-биологических исследований пока не прояснили причины СПЗ и БС, но позволяют предполагать связь между загрязнением территорий продуктами взрывов и развитием заболеваний у военных и населения. Нерешенность проблемы сохранила ее актуальность, что и послужило предпосылками к выбору темы исследования.

## Материал и методы

Материалом для исследования послужили открытые научные источники медицинской и биологической информации по проблеме. Использованы базы данных ВИНИТИ РАН (Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук) On-line, Web ИРБИС, электронный каталог БАН РАН (Библиотека Российской академии наук).

Методом исследования является информационный поиск и анализ научно-экспериментальных данных:

– о свойствах ОУ и воздействии природного и ОУ на живые организмы в ранний и отдаленный период после контакта;

– о заболеваниях миротворческих военнослужащих и военных, принимавших участие в войне на Балканах и заболеваниях населения, проживающего на пострадавших территориях;

- о загрязнении почвы, грунтовых вод и растений в районах применения оружия с ОУ;
- мнения и взгляды известных ученых (радиологов, онкологов, химиков, биологов) на возможную связь масштабного применения боеприпасов с ОУ с заболеваниями военнослужащих и населения, проживающего на пострадавших территориях.

## Результаты исследования

Обедненный уран (depleted uranium), впервые ОУ был получен в 1940 г. как побочный продукт обогащения природного урана, который в настоящее время получают в больших количествах при выполнении ядерных программ [10, 11]. ОУ является побочным продуктом технологического процесса изготовления топлива для некоторых типов ядерных реакторов и материалов для ядерного оружия. Природный уран непригоден для использования на АЭС, поскольку содержит всего 0,7 % расщепляющегося  $^{235}\text{U}$ . При изготовлении топлива для АЭС и материалов для ядерного оружия природный уран обогащают до определенного содержания в нем  $^{235}\text{U}$  (для разного типа АЭС достаточно от 3 до 20 %). Изотопы урана не различаются по химическим свойствам, для обогащения используют разницу в массе [11].

Смесь, остающаяся после удаления обогащенного урана, называют ОУ, поскольку в ней содержится уменьшенное количество изотопов  $^{235}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$ . ОУ на 60 % менее радиоактивен, чем природный уран, но в химическом отношении он ведет себя так же, как природный уран. Доза внешнего облучения от ОУ составляет около половины той, что дает природный уран такой же массы, и с этой точки зрения он не опасен для человека. Изотопы природного и ОУ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Изотопы в естественном и ОУ

Изотоп	Период полураспада, лет	Удельная активность	Концентрация, Кг/г	Весовой процент
$^{234}\text{U}$	$2,46 \cdot 10^5$	$6,22 \cdot 10^{-3}$	0,0054	0,0007
$^{235}\text{U}$	$7,04 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^{-6}$	0,711	0,2
$^{236}\text{U}$	$2,34 \cdot 10^7$	$6,47 \cdot 10^{-5}$	–	–
$^{238}\text{U}$	$4,47 \cdot 10^9$		99,28	99,8
Природный U	–	$6,85 \cdot 10^{-7}$	–	–
Обедненный U	–	$3,85 \cdot 10^{-7}$	–	–

После отработки реакторного топлива из него извлекают плутоний, и остается реакторный ОУ – смесь активно распадающихся радиоактивных изотопов, среди которых обязательно присутствуют изотопы  $^{232}\text{U}$  и  $^{236}\text{U}$ . Активность реакторного урана в сотни и тысячи раз больше, чем природного.

Химическая токсичность природного урана была признана более двухсот лет назад, о радиационной опасности изотопов урана, определяющей при внутреннем загрязнении организма антирепродуктивные, канцерогенные и мутагенные свойства, стало известно с начала ядерной эры. Но в составе ОУ не должно быть примесей высокоактивных изотопов (например,  $^{235}\text{U}$ ), что делает его радиационно не опасным продуктом.

Долгое время ОУ был малополезен из-за низкой экономической ценности, но сегодня ОУ популярен вследствие его высокой плотности и большого сечения захвата нейтронов. ОУ используется для производства хвостового оперения Боингов, в качестве противовесов в самолетах, ракетах, в килях яхт и даже в лифтах. Со второй половины XX в. ОУ стали использовать при изготовлении брони танков и высокоэффективных бронебойных снарядов. Урановые подкалиберные снаряды (боеприпасы, диаметр боевой части которых меньше

диаметра ствOLA) применяются в основном для увеличения начальной скорости боеприпасов. Чаще всего используются для борьбы с бронированными целями, приняты на вооружение в большинстве танкостроительных держав, но в отличие от других стран, армия США не имеет сегодня других подкалиберных снарядов, кроме урановых. Остальные страны используют в мирное время боеприпасы из вольфрама и хранят запасы урановых снарядов на случай «большой войны». Во всех локальных конфликтах последнего времени США, несмотря на недостаточность сведений об отдаленных медицинских последствиях продуктов, образующихся при взрывах, использовали урановые снаряды (рис. 1). Во время операции «Буря в пустыне» сухопутные войска США израсходовали 9 552 танковых и 1,7 млн малокалиберных урановых снарядов, оставив на иракской и кувейтской земле больше 200 т ОУ [4, 12].

Как упоминалось выше, общественность воспринимает «уран» только в связи с продуктами ядерного деления. В действительности преимущества ОУ как материала бронебойных сердечников лежат в совершенно неядерной области. ОУ практически не радиоактивен, а его физические свойства обеспечивают «самозатачивание» снаряда при прохождении через броню, он не расплющивается и не тормозится. Благодаря пирофорности и токсичности урана при пробитии брони остатки уранового сердечника вспыхивают, создают пожар внутри танка и наполняют боевое отделение токсичными газами. Отличное заброневое действие, большие запасы ОУ и его дешевизна по сравнению с вольфрамом делают отказ от применения его в боеприпасах маловероятным.



Рис. 1. Снаряды с ОУ, которые использовали в Косово  
(фото А. Бляйзе / МАГАТЭ)

#### «Взрывные» продукты снарядов с ОУ и их биологические эффекты

В доступной научной литературе данные о физических закономерностях, сопутствующих боевому использованию боеприпасов с ОУ, незначительны. Известно, что после взрыва снаряда с ОУ около 70 % его превращается в пыль с частицами не больше 5 микрон. На рис. 2 приведено изображение частиц ОУ, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа, оборудованного энергодисперсионным рентгеновским флюоресцентным детектором.

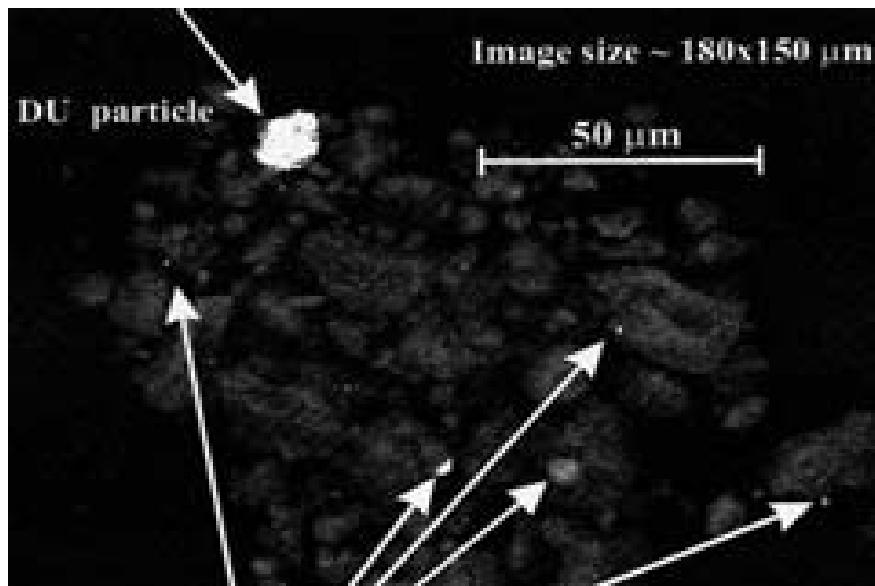


Рис. 2. Изображение частиц ОУ (светлые участки), полученные сканирующим электронным микроскопом (фото П. Данези / МАГАТЭ)

Принимая во внимание, с одной стороны, данные о токсичности ОУ, полученные в экспериментах, и, с другой стороны, тонны урановой пыли после взрывов снарядов с ОУ, несмотря на малую радиоактивность, логично предполагать, что при попадании нерастворимых токсичных частиц в дыхательные пути человека накопление и долговременное их пребывание в тканях опасны для здоровья. В связи с этим представляется неправомерным отрицать риск негативного влияния образующейся при взрывах пыли ОУ на здоровье человека, в том числе канцерогенный и тератогенный риск.

В результате применения боеприпасов с ОУ в песках Ирака было рассеяно более 3 т урановой пыли. В общей сложности в военных конфликтах в Ираке и в Югославии США использовали около 900 тыс. боеприпасов, суммарная масса ОУ которых составляет 300 т. Перечисленные факты делают правомерным рассмотрение продуктов, образующихся при использовании боеприпасов с ОУ в качестве экологически опасных факторов [13, 14].

После окончания военных действий в СМИ появились сообщения о заболевании военнослужащих, воевавших в Персидском заливе, лейкемией и другими онкологическими заболеваниями и о случаях рождения неполноценных детей в семьях ветеранов и у населения, пострадавшего от обстрела территорий. Ряд экспертов-экологов, правозащитников и политиков уверены в том, что применение боеприпасов с ОУ вызывает радиоактивное заражение местности с последующей инициацией онкологических и наследственных заболеваний. Такая уверенность не поддерживается специалистами, поскольку ОУ практически не радиоактивен. Активность 3 т пыли, рассеянной в песках Ирака, составляет примерно 1 МБк, что в 1 млн раз меньше, чем ежегодно дает угольная электростанция. В то же время попадание токсичной урановой пыли и аэрозолей в организм человека при взрывах и накопление нерастворимых частиц в тканях допускают возможность развития патологических изменений. Согласно данным обследования 160 военнослужащих НАТО, которые попали под обстрел или были ранены урановыми осколками, спустя 8 лет после окончания войны содержание ОУ в организме ветеранов этой группы оказалось в 100 раз выше, чем у необстрелянных [7]. По мнению автора, долговременное пребывание в тканях организма альфа-излучающих радионуклидов даже с очень незначительной активностью может стать причиной местного воспаления и привести к развитию опухоли. В медицине считается нормой 13,2 случаев заболевания лейкемией на 100 тыс. жителей. В 100-тысячной натовской группировке на Балканах наблюдалось до 20 смертельных случаев и до 50 заболевших. И это не просто среднестатистические 100 тыс., а молодые мужчины, которые регулярно проходили медицинское обследование.

Химические свойства изотопов урана одинаковы, и, являясь химически активными элементами, они образуют большое число легко- и труднорастворимых соединений, обладающих токсическим эффектом [10, 11]. Выраженность эффекта находится в прямой связи с растворимостью его соединений, что в одинаковой мере проявляется при любом пути поступления его в организм. Попадая внутрь организма через желудочно-кишечный тракт или ингаляционным путем, растворимые соединения урана всасываются в кровь и разносятся по органам, но депонируются главным образом в почках, которые в ранние сроки поступления урана являются критическим органом. При длительном поступлении в организм уран может задерживаться в костной ткани. Но при использовании оружия с ОУ растворимые соединения урана не образуются, а в воде уран почти нерастворим. Выведение из организма человека и животных труднорастворимых соединений (четырехфтористого урана, двуокиси урана, окиси – закиси урана) происходит очень медленно – в течение нескольких лет с двумя периодами полувыведения в 120 и 360 сут 86 % урана, задержанного во всем организме, откладывается в костях, 6,5 % – в почках. Химическая токсичность урана и его соединений близка к токсичности ртути или мышьяка и их соединений. Острая и хроническая урановая интоксикация характеризуются политропным действием урана на различные органы и системы организма [15]. Данные лабораторных исследований головного мозга крыс и изменения в их поведении в разное время после введения взрослым животным ОУ выявили связь нарушений в поведении животных с накоплением ОУ в некоторых отделах мозга [16]. Это позволило сделать вывод о нейротоксичности ОУ. Установлено, что длительность поступления ОУ и его распределение в органах и тканях человека зависит от путей поступления в организм: при ингаляционном поступлении уран накапливается в легких, при пероральном – в костях и печени [17]. В эксперименте на животных однократная инкорпорация ОУ вызывала нарушение метаболизма структурных образований органов-мишеней, которые взаимоотягощали друг друга на фоне токсического воздействия ОУ, формируя полиорганный эффект поражения [18]. Однократное введение внутрь организма водных растворов ОУ сопровождалось морфофункциональными изменениями в целом ряде органов, включая органы желудочно-кишечного тракта, эндокринные железы и головной мозг, что подтверждает полиорганный эффект ОУ и позволяет предполагать возможную связь развивающихся изменений с причинными поведенческими реакциями [19–25]. Полиорганный эффект ОУ подтверждают и данные исследования аккумуляции ОУ в органах крыс после имплантации фрагментов с ОУ [26]. Во время военных действий наибольшая опасность ОУ связана с его попаданием в организм через органы дыхания с мелкодисперсной пылью, и особенно с аэрозолями. В 1999 г. вышла 82-я публикация Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) «Анализ окружающей среды после конфликта». В ней приведены методы оценки возможных доз внешнего облучения на пострадавших территориях, результаты которых не превышают безопасных показателей, допустимых по современным нормам радиационной безопасности. Основным источником внешнего облучения может быть обращение с боеприпасами из ОУ или с их фрагментами, а также проживание и передвижение в районах, загрязненных ОУ. Опасность несет внутреннее облучение в результате вдыхания мелких аэрозолей ОУ, возникающих при пожарах или при ударе боеприпаса о цель. Наибольшему риску внешнего облучения подвергаются лица, занятые расчисткой территорий из-за прямого и длительного контакта с обломками ОУ. Внутреннее облучение может произойти в результате вдыхания мелкодисперсных аэрозолей, попадания пыли в пищу или длительного нахождения осколков в теле. Риску подвергаются военные при нахождении в транспортных средствах, пораженных боеприпасами и персонал, вовлеченный в спасательные, ремонтные и очистительные работы. Среди населения могли пострадать лица, которые собирали обломки снарядов и техники на сувениры. Объективной информации о количестве людей, пострадавших от ОУ, нет, поскольку дозиметрических измерений не проводилось.

Появление сообщений о признаках лучевого воздействия у военнослужащих, участвующих в боевых действиях на Балканах, было воспринято специалистами неоднозначно. ОУ практически не радиоактивен, а на открытой местности концентрация пыли снижается такими факторами, как ветер, конвективные процессы и т.д. Лошадкин Н.А. и соавторы в статье «Случаи массовых заболеваний «неясной этиологии»: токсикологические аспекты. Роль малых доз физиологически активных веществ» [27] рассматривают часто обсуждаемые причины ВС – Балканского и синдрома Персидского залива – к которым относят пестициды, прививки, антидоты, паразиты, и т.д. По их мнению, многофакторный комплекс низких уровней физических и сверхмалых концентраций химических веществ в среде во время военных действий может быть причиной развития массовых заболеваний неясной этиологии. Авторы разделяют точку зрения исследователей США о возможном потенцирующем эффекте, который проявляется в комплексе факторов сверхмалой концентрации и объясняет необычный комплекс симптомов, и неубедительным считают длительное воздействие паров зарина и иприта при высоких температурах и больших скоростях испарения жидкостей в пустыне. Вопрос о комбинированном, комплексном и сочетанном действии малых концентраций токсикантов с другими неблагоприятными для здоровья факторами практически не изучен.

Во время военных действий на каждой войне складывается экологически неблагоприятная среда с множеством опасных и вредных факторов в неожиданном их сочетании. Одним из таких факторов является мелкодисперсная пыль из ОУ. Естественно, она не влияет на радиационный фон, который измеряла служба радиационной химической биологической разведки (РХБР) (подразделение службы РХБЗ), поскольку ОУ не является гамма-излучателем, он является альфа-излучающим. Удельная активность ОУ, как видно из табл. 1, значительно ниже, чем у природного урана, и альфа-излучение не опасно для человека при внешнем облучении. Приборы РХБР не предназначены для регистрации альфа-частиц, тем более при низкой активности источника. Но при взрывах образуются мелкодисперсные аэрозоли, обладающие высокой степенью токсичности, которые могут сорбироваться на частичках продуктов горения нефти и в «концентрированном» виде поступать в организм через органы дыхания [27]. Оседая в тканях организма, они, по мнению авторов, могут быть причиной лейкозов. Косвенным подтверждением такой ситуации является отсутствие случаев лейкемии у военнослужащих в Хорватии, где боеприпасы с ОУ не применялись.

Что касается причин возрастания случаев врожденных заболеваний среди населения, подвергшегося бомбардировкам, представляют интерес исследования последних лет по изучению содержания ОУ и тяжелых металлов в волосах женщин, родивших детей с врожденными дефектами [28]. Определено, что волосы женщин в г. Фаллудже (Ирак) содержали значительно большее количество ОУ, чем волосы женщин из регионов, не подвергнутых бомбардировкам снарядами с ОУ. Авторы статьи с осторожностью предполагают влияние накопленного в организме женщин ОУ на развитие врожденных патологий детей, не исключая роли и повышенного уровня целого ряда других тяжелых металлов.

### **Этиология заболеваний, вызванных применением оружия с ОУ**

После окончания военных действий в Югославии международные комиссии проводили обследование территорий не только на местах боевых действий, но и на значительном расстоянии от них. Было обнаружено загрязнение почвы, растительности, водоемов и рек бассейна Дуная продуктами горения нефти, трансформаторных масел, хлорорганическими соединениями, соединениями ртути, кадмия, свинца и другими токсичными веществами. Полиморфность загрязнителей является аргументом в пользу предположений связи СПЗ и ВС с комплексным и комбинированным воздействием разных

факторов, неблагоприятных для здоровья военных. В качестве «носителей» радионуклидов и токсичных веществ могут выступать также частицы аэрозолей, образующиеся при применении «графитовых» боеприпасов, которые армии НАТО применяли для выведения из строя сетей электроснабжения. В Югославии боеприпасы применялись в авиационном варианте, бомбардировкам подверглись обширные площади, а 15 т ОУ, сброшенные на Югославию, превратились в пыль, разнесенную ветром по всем Балканам, загрязнив почву, воздух, растения и животных. Полные сведения о применении авиационных бомб с ОУ представлены в публикации «How the Pentagon Radiates Soldiers & Civilians with DU-Weapons Paperback» [29].

В 2008 г. в США вышел отчет Научно-консультативного комитета по болезням ветеранов войны в Персидском заливе, в котором приведены данные наблюдений за 697 тыс. ветеранов США, Великобритании, Австралии и Дании [30]. В табл. 2, 3 в процентном выражении дано повышение частоты случаев тех или иных симптомов у военнослужащих разных стран, принимавших участие в боевых действиях, и повышение частоты заболеваний в группах ветеранов. Вновь рассматривается весь комплекс негативных факторов, которые могут быть причиной развития синдрома. Наибольшее число случаев синдрома у ветеранов США объясняют возможным комбинированным действием ФОС-пестицидов и антидота, которые американские военнослужащие принимали против ОВ нервонапаралитического действия. Пестицидами пропитывали палатки и обмундирование, антидоты принимали в достаточно больших дозах. В качестве аргумента в пользу такого вывода приводят результаты экспериментов на крысах. Было установлено, что одновременное введение этих препаратов в организм экспериментальных животных снижает антихолинэстеразную активность в нервной ткани, что может быть причиной развития полиневритов, которые развивались у ветеранов войны. В публикации приведены противоположные мнения о ведущей роли ОУ, они уравновешены – половина исследователей уверена, что ОУ является основным этиологическим фактором развития синдрома Персидского залива, другая половина отрицает такой вывод. Однозначных мнений нет, как нет и конкретных подтверждений.

Таблица 2. Повышение числа случаев проявления основных симптомов ВС у военнослужащих, принимавших участие в боевых действиях с применением боеприпасов, содержащих ОУ, %

Симптом	США	Великобритания	Австралия	Дания
Утомляемость	23 %	23 %	10 %	16 %
Головная боль	17 %	18 %	7 %	13 %
Проблемы с памятью	32 %	28 %	12 %	23 %
Мышечная боль	18 %	17 %	5 %	2 % (<2 %)
Диарея	16 %	–	9 %	13 %
Диспепсия	12 %	–	5 %	9 %
Неврологические проблемы	16 %	–	8 %	12 %
Терминальные туморы	33 %	–	9 %	11 %

Таблица 3. Возрастание числа заболеваний в группах ветеранов, %

Проблемы	США	Великобритания	Канада	Австралия
Проблемы с кожей	–	21 %	–	4 %
Проблемы Артрита/соединения	–	10 %	–	2 %
Желудочно-кишечные проблемы	–	–	–	1 %
Дыхательная проблема	–	2 %	–	1 %
Хронический синдром усталости	–	3 %	–	0 %
Проблемы с позвоночником	–	9 %	–	3 %
Хроническая болезнь multi-симптома	–	26 %	–	–

Однако работы последних лет, результаты которых приведены ранее, не позволяют так однозначно признать СПЗ результатом воздействия только одного определенного фактора, но и полностью отрицать причастность урановой пыли к развитию СПЗ пока рано. Вполне вероятно, что канцерогенное и тератогенное действие наночастиц керамических оксидов урана (менее 1 микрометра в диаметре), которые попадают в организм при вдыхании взрывной пыли, связано с их транслокацией в лимфатическую систему, где часть из них может задержаться на десятки лет. В экспериментах на животных при ингаляционном воздействии урана четко наблюдалась обширная патология различных органов и систем, в том числе и угнетение костного мозга [11, 15]. Но это относится к отдаленным последствиям, которые пока еще недостаточно изучены. Негативное воздействие ОУ стало проявляться у пострадавшего населения спустя 5–10 лет после военной агрессии. Неизвестно, какие отдаленные последствия войны возможны в последующие годы.

### Экологические последствия

Под эгидой МАГАТЭ в рамках реализации Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) было создано несколько комиссий для анализа сложившейся экологической ситуации на пострадавших от бомбёжек территориях Югославии. Отчеты о проделанной работе представлены в докладах и публикациях МАГАТЭ и МКРЗ [3]. В докладе ЮНЕП «Обедненный уран в Косово» группа международных экспертов в составе представителей МАГАТЭ и ряда национальных исследовательских учреждений Финляндии, Швеции, Норвегии, России и других стран осенью 2001 г. провела исследования в районах Сербии и Черногории, которые в 1999 г. подверглись бомбардировкам. Фрагменты авиационных бомб или частицы ОУ были обнаружены в пяти районах из шести. Власти Сербии и Черногории получили рекомендации о необходимости учесть потенциальный риск при проведении в загрязненном районе каких-либо земляных и строительных работ, а также соблюдать меры предосторожности при удалении или сжигании растений. Работа группы позволила выявить ряд точек загрязнения и установить, что значимый риск возникает только в случае непосредственного контакта с загрязненной точкой с последующим загрязнением рук и появлением риска переноса в рот или непосредственного попадания загрязненной почвы в организм через пищеварительную систему. Исследователи сделали вывод, что загрязнение поверхности почвы ОУ удается обнаружить лишь в радиусе нескольких метров от мест нахождения бронебойных снарядов и в локализованных точках концентрированного загрязнения, образовавшегося при попадании таких снарядов в цель. Были даны рекомендации применять профилактический подход к определению мест, в которых может оставаться ОУ, и к оценке необходимости очистки территории. Превышения допустимых международных норм, характеризующих степень радиоактивного или токсичного заражения, эксперты МАГАТЭ не обнаружили. Вместе с тем в докладе отметили возможное загрязнение воды в долгосрочной перспективе вследствие коррозии урановых сердечников, остающихся в земле. «Пробойники», найденные экспертами, по причине коррозии уже потеряли 10–15 % своей массы. Процесс коррозии ОУ проходит намного быстрее, чем природного, и мобильность его частиц намного выше, поэтому он представляет опасность окружающей среды.

Загрязнение почвы и растений допускает возможность поступления в организм человека токсичных соединений урана с пищей. Результаты исследований, посвященных транслокации урана из почвы в растения, опубликованы в ряде работ отечественных исследователей [31–34]. Уран относится к элементам с «барьерным» типом поглощения корневыми системами растений, максимальное его количество накапливается в корнях. Переход урана из почвы в растения следует принимать во внимание при ведении сельского хозяйства на загрязненных участках территорий.

При всех войнах военнослужащие подвергались воздействию опасных и вредных факторов среды на территории боевых действий, спектр и сочетание которых менялись в связи с внедрением в военную сферу новых технологий, материалов, техники, оружия.

В связи с этим изменялись и медицинские последствия войн, прежде всего ВС. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные выяснению причин ВС, они остаются неясными. Многофакторность, разнообразие сочетаний и комбинаций поражающих факторов, климатических условий, физического и психологического состояния препятствуют выяснению конкретных этиологических факторов ВС. Это относится и к ВС современных войн.

Актуализация проблемы ВС произошла после военных действий в Югославии, когда в натовских войсках, принимавших участие в войне на Балканах, появилось массовое заболевание, во многом похожее на СПЗ и вошедшее в историю как Балканский синдром. Отличие состояло в том, что у части заболевших быстро развивалась лейкемия. Но низкая удельная активность ОУ, которая значительно меньше, чем у природного урана, не предполагает, что его попадание в организм человека может вызвать такое быстрое поражение кроветворной системы. В то же время токсичность пыли из ОУ исключить нельзя, тем более в таком количестве, которое появлялось в результате массированных бомбёжек территории Югославии. Экспериментальные исследования ряда авторов выявили полиорганное накопление ОУ при введении его в организм крыс, что привело к патологическим изменениям в тканях. Однако этих данных недостаточно для конкретных выводов о роли ОУ в развитии как СПЗ, так и ВС. Моделировать сложные и непредсказуемые условия среды, в которых идут военные действия, невозможно. Не изучены комплексы и сочетания химических, физических, климатических факторов, и невозможно в эксперименте на животных учесть вклад психологических факторов. В результате конкретных доказательств ведущей роли ОУ в развитии ВС и росте заболеваний среди населения пострадавших территорий пока нет.

На основании проведенного исследования можно заключить, что опасность применения оружия с ОУ для здоровья военнослужащих, населения и природы остается сложной, нерешенной актуальной медико-биологической, экологической, социальной и правовой проблемой, решение которой требует изучения отдаленных последствий и организации эпидемиологических исследований.

### **Литература**

1. Белоус Д.А. Радиация, биосфера, технология. СПб.: ДЕАН, 2004. 448 с.
2. Василенко И.Я., Василенко О.И. Медицинские проблемы техногенного загрязнения окружающей среды // Гигиена и санитария. 2006. № 1. С. 22–25.
3. Обедненный уран. Факторический бюллетень Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). 2001. № 257. Янв. URL: <http://www.strana-rosatom.ru/pdf/rsa95regions.pdf> (дата обращения: 11.12.2014).
4. Фофанов В. Урановые боеприпасы: снаряды // Популярная механика. 2003. № 10. С. 78–81.
5. Rhodes R. The Making of the Atomic Bomb. New York: Published by Simon & Schuster Inc., 1986. 886 p.
6. Hyams K.C., Wignall F.S., Roswell R. War Syndromes and Their Evaluation: From the U.S. Civil War to the Persian Gulf War // Ann. Intern. Med. 1996. Vol. 125. P. 398–405.
7. Durakovic A. On depleted uranium: Gulf War and Balkan Syndrome // Croat. Med. J. 2001. Vol. 42. № 2. P. 130–134.
8. Gulf War and Health // National Academy of Sciences (NAS). 2013. Vol. 1–9. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3757323/> (дата обращения: 11.12.2014).
9. Gulf War and Health Volume 1. Depleted Uranium, Sarin, Pyridostigmine Bromide, Vaccines / Eds.: C.E. Fulco, C.T. Liverman, H.C. Sox. Washington: The National Academies Press, 2000. 380 P.
10. Бекман И.Н. Уран. М.: Изд-во МГУ, 2009. 300 с.
11. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. 407 с.

12. Растопшин М. Материал «Б» // Онлайн библиотека PLAM.RU. URL: [http://www.plam.ru/transportavi/tehnika\\_i\\_vooruzhenie\\_2002\\_05/p4.php](http://www.plam.ru/transportavi/tehnika_i_vooruzhenie_2002_05/p4.php) (дата обращения: 16.10.2014).
13. Ушаков И.Б., Березин Г.И., Зуев В.Г. Обедненный уран: радиационные и экологические аспекты безопасности // Воен.-мед. журн. 2003. Т. 324. № 4. С. 56–59.
14. Бова А.А., Борисов В.М., Нагорнов И.В. Медицинские последствия использования обедненного урана в боеприпасах // Военная медицина. 2001. № 2. С. 111–112.
15. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 336 с.
16. Briner W. The toxicity of depleted uranium // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2010. Vol. 7. № 1. P. 303–313.
17. Мордашова В.В. Длительность поступления урана и его распределение в органах и тканях человека в зависимости от путей поступления // Мед. радиология и радиац. безопасность. 2004. Т. 49. № 2. С. 5–12.
18. Полиорганный эффект обедненного урана в эксперименте / З.А. Воронцова [и др.] // Вестн. новых мед. технологий. 2012. Т. XIX. № 2. С. 397–399.
19. Афанасьев Р.В., Зуев В.Г. Фосфатазная активность тканей органов пищеварения при инкорпорации обедненного урана и ее связь с причинными поведенческими реакциями // Воен.-мед. журн. 2010. Т. 331. № 2. С. 75–76.
20. Изменение клеточного состава периферической крови при однократной инкорпорации обедненного урана в эксперименте / Р.В. Афанасьев [и др.] // Воен.-мед. журн. 2012. Т. 333. № 2. С. 65–67.
21. Сравнительная характеристика отделов пищеварительной системы при инкорпорации обедненного урана / З.А. Воронцова [и др.] // Вестн. новых мед. технологий. 2010. Т. XVII. № 2. С. 50–51.
22. Воронцова З.А., Гуреев А.С. Биоэффекты экзокринной и эндокринной паренхимы органов на обедненный уран // Здоровье и образование в XXI веке. 2013. Т. 15. № 1/4. С. 250–252.
23. Набродов Г.М. Морфофункциональная характеристика печени в условиях отдаленных последствий однократного перорального введения обедненного урана : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 2011. 19 с.
24. Проскурякова Е.Е. Морфофункциональное состояние слизистой оболочки тощей и толстой кишки при однократном пероральном введении водного раствора обедненного урана : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 2010. 24 с.
25. Степанов Д.С., Воронцова З.А. Морфофункциональное состояние щитовидной железы после однократного перорального введения смешанного оксида обедненного урана в эксперименте // Вестн. новых мед. технологий. 2010. Т. XVII. № 2. С. 52–57.
26. Zhu G. Accumulation and distribution of uranium in rats after implantation with depleted uranium fragments // J. Radiat. Res. 2009. Vol. 50. № 3. P. 183–192.
27. Случаи массовых заболеваний «неясной этиологии»: токсикологические аспекты. Роль малых доз физиологически активных веществ / Н.А. Лошадкин [и др.] // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 6. С. 46–57.
28. Uranium and other contaminants in hair from the parents of children with congenital anomalies in Fallujah, Iraq / S. Alaani [et al.] // Conflikt and Health. 2011. 5: 15. URL: <http://www.conflictandhealth.com/content/5/1/15> (дата обращения: 02.10.2014).
29. How the Pentagon Radiates Soldiers & Civilians with DU-Weapons Paperback // Metal of Dishonor – Depleted Uranium. 2005. January 30.
30. What is Gulf War Syndrome? // News Medical. URL: <http://www.news-medical.net/health/What-is-Gulf-War-Syndrome.aspx> (дата обращения: 19.12.2014).

31. Действие обедненного урана на сельскохозяйственные культуры / А.А. Касьяненко [и др.] // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. М.: Изд-во РУДН, 2004. Вып. 6. Ч. 2. С. 168–171.
32. Кулиева Г.А. Транслокация урана-238 из почвы в растения (на примере ячменя): автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 24 с.
33. Сельскохозяйственные растения, как биологические аккумуляторы обедненного урана / Г.А. Кулиева [и др.] // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. М.: Изд-во РУДН, 2007. Вып. 9. Ч. 2. С. 4–9.
34. Поведение  $^{238}\text{U}$  в системе почва-растение / А.Н. Ратников [и др.] // Агроэкологическая безопасность в условиях техногенеза: сб. науч. тр. Междунар. симпоз. Казань, 2006. С. 307–311.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЯДА ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС РОССИИ

Ю.С. Баринова;

Н.В. Каменецкая, кандидат технических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации;

Е.С. Калинина, кандидат педагогических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Описан эффективный алгоритм для решения одной из важных задач оптимизации оперативной деятельности подразделений МЧС России на основе применения теории графов.

*Ключевые слова:* оптимизация, маршруты передвижения, гамильтоновы циклы

## POSSIBILITY OF APPLYING THE GRAPH THEORY FOR SOLVING A NUMBER OF OPTIMIZATION PROBLEMS OF OPERATIONAL ACTIVITIES OF DIVISIONS OF EMERCOM OF RUSSIA

Yu.S. Barinova; N.V. Kamenetskaya; E.S. Kalinina.

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

In this article, there is described an effective algorithm of solving a number of most important optimization problems of operational activities of divisions of EMERCOM of Russia based on graph theory.

*Keywords:* optimization, routes of movement, cycles of gamilton

В МЧС России для поддержки принятия решений по оперативным действиям, связанным с развитием чрезвычайных ситуаций (ЧС) и ходом ликвидации их последствий, а также для сбора и обработки информации о возможности возникновения ЧС созданы специальные автоматизированные системы на базе информационно-вычислительных сетей (ИВС) МЧС России. Эти системы необходимо постоянно пополнять и развивать.

Применение базовых понятий и теорий аппарата классической и современной математики дает возможность разрабатывать простые, но весьма эффективные методы, алгоритмы и программы для оптимизации оперативной деятельности подразделений МЧС России в повседневной работе и при ликвидации ЧС.

При возникновении ЧС стоит первоочередная задача спасения людей, а потом уже ликвидации ее последствий. Если задержка прибытия спасателей на место происшествия будет очень велика, то это может привести к гибели пострадавших.

Наиболее выгодным маршрутом следует считать тот, на котором время доставки спасателей будет меньше. Поэтому более правильно в качестве критерия оптимальности принимать время доставки спасателей, а не длину маршрута. При этом задача заключается в определении плана перевозок, при котором вся аварийно-спасательная и пожарная техника будет доставлена в кратчайший срок.

Задача сокращения времени прибытия спасателей в реально сложившейся обстановке зависит от качественного и своевременного решения задачи управления, связанной с планированием и выбором оптимальных маршрутов передвижения сил и средств к месту возникновения ЧС. Поэтому актуальным является решение одной из основных задач МЧС России по нахождению оптимальных маршрутов передвижения сил и средств подразделениями МЧС России в условиях ограничения времени.

Ввиду того, что на рассматриваемой территории в зоне ЧС находится большое число (несколько десятков) пунктов, а также возможных маршрутов передвижения, то для решения поставленной задачи применяется математический аппарат теории графов и методы решения экстремальных задач на графах. В отечественной и зарубежной литературе описан ряд методов по решению оптимальных задач на графах. Для решения поставленной выше задачи важно выбрать такой метод, который позволит доставить силы и средства к месту ЧС не только в кратчайшие сроки, но и во все населенные пункты в зоне ЧС. Для достижения этой цели можно рассмотреть в теории графов различные методы нахождения так называемых гамильтоновых циклов, или, в крайнем случае, гамильтоновых путей.

Цикл (путь) называется гамильтоновым, если он проходит через каждую величину графа ровно один раз.

С понятием гамильтоновых циклов тесно связана так называемая задача коммивояжера: в нагруженном (по времени или по расстоянию) графе определить гамильтонов цикл (или, в крайнем случае, путь) минимальный по времени или по расстоянию. Иными словами, коммерсант должен совершить поездку по всем населенным пунктам и вернуться обратно, побывав в каждом населенном пункте ровно один раз, и при этом стоимость такой поездки должна быть минимальной.

Интерпретация задачи нахождения гамильтоновых циклов (путей) для решения поставленной выше задачи состоит в том, чтобы доставить силы и средства МЧС России в зону ЧС ко всем пострадавшим объектам ровно по одному разу, при этом суммарное время (или суммарное расстояние) должно быть минимальным. Среди всех найденных гамильтоновых циклов (путей) необходимо выбрать минимальный по времени (или по расстоянию).

Таким образом, сетке дорог ставится в соответствие ориентированный граф, вершинами которого являются узлы данной сетки (населенные пункты), а ребрами – отрезки дорог между узлами (движение по дороге может быть односторонним). Каждому ребру приписывается длина – расстояние между соответствующими узлами. Ищется набор оптимальных маршрутов, начинающихся и заканчивающихся в заданных точках, и ограниченных некоторой функцией от длин ребер графа, которая может учитывать физическую длину маршрута (километраж), либо время движения транспорта.

Расстояния между объектами задаются матрицей расстояний  $A = [a(i, j)]$  размерности  $n \times n$ , где  $a(i, j)$  – расстояние от пункта  $i$  до пункта  $j$ . Отметим, что в общем случае матрица расстояний не является симметричной (разностороннее движение, сложные транспортные развязки и т.д.).

Так как рассматривается большая территория и граф имеет десятки-сотни вершин и дуг, то решение поставленной задачи доставки сил и средств предполагается осуществлять в два этапа. На первом этапе решается задача разбиения региона на компактные зоны обслуживания (группирование объектов, которые обслуживаются для каждого маршрута). В каждой зоне значительно сокращается количество элементов графа, что в дальнейшем позволит более эффективно решать задачу выбора оптимальных маршрутов. Первую задачу будем называть задачей кластеризации. На втором этапе решается задача нахождения оптимального по заданному критерию (суммарному расстоянию или времени) доставки сил и средств к объектам, которые обслуживаются для каждого маршрута. Эту задачу будем называть задачей маршрутизации. После решения двух задач формируются рекомендации по выбору в каждой зоне конкретных оптимальных маршрутов и расписания движения для всех транспортных средств, перевозящих подразделения МЧС России.

Если на графе, соответствующем сетке дорог, гамильтоновых циклов (путей) не обнаруживается, необходимо разбить исходный граф на подграфы и повторить процедуру для каждого подграфа.

Необходимо отметить, что алгоритм Дейкстры [1] по нахождению кратчайшего пути из пунктов А в пункт В при решении данной задачи неприемлем, так как при этом многие объекты в зоне ЧС, нуждающиеся в помощи подразделений МЧС России, останутся вне обслуживания.

### **Математическая постановка и решение задачи по нахождению гамильтоновых циклов (путей) на графе**

В зарубежной и отечественной литературе описаны несколько алгоритмов нахождения гамильтоновых циклов (путей) на графах, которые отличаются трудоемкостью, производительностью, быстродействием и эффективностью [1–6].

Пока неизвестно никакого простого критерия или алгебраического метода, позволяющего ответить на вопрос, существует или нет в произвольном графе гамильтонов цикл [1]. Критерии существования, данные в работах Поша [7], Неша-Уильямса [8] и Оре [9], представляют теоретический интерес, но являются слишком общими и не пригодны для произвольных графов, встречающихся на практике. Алгебраические методы определения гамильтоновых циклов [1, 5, 10] не могут быть применены к задачам с более чем несколькими десятками вершин, так как они требуют слишком большого времени работы и большей памяти компьютера. Более приемлемым является метод перебора Робертса и Флореса [3, 4], который не предъявляет чрезмерных требований к памяти компьютера. Он может быть использован для нахождения гамильтоновых циклов в очень больших графах.

В противоположность алгебраическим методам [5, 10], с помощью которых пытаются найти сразу все гамильтоновы циклы и при реализации которых приходится хранить поэтому все цепи, которые могут оказаться частями таких циклов, метод перебора имеет дело с одной цепью, непрерывно продлеваемой вплоть до момента, когда либо получается гамильтонов цикл, либо становится ясно, что эта цепь не может привести к гамильтонову циклу. Тогда цепь модифицируется некоторым систематическим способом (который гарантирует, что, в конце концов, будут исчерпаны все возможности), после чего продолжается поиск гамильтонова цикла. В этом способе для поиска требуется очень небольшой объем памяти и за один раз находится один гамильтонов цикл.

Следующая схема перебора, использующая обычную технику возвращения, была предложена Робертсом и Флоресом [1, 3, 4]. Начинают с построения ( $k \times n$ ) – матрицы  $M = [m_{ij}]$ , где элемент  $m_{ij}$  есть  $i$ -я вершина (скажем  $x_q$ ), для которой в графе  $G = (X, \Gamma)$  существует дуга  $(x_j, x_q)$ . Вершины  $x_q$  в множестве  $\Gamma(x_j)$  можно упорядочить произвольно, образовав элементы  $j$ -го столбца матрицы  $M$ . Число строк  $k$  матрицы  $M$  будет равно наибольшей полустепени исхода вершины.

Метод состоит в следующем. Некоторая начальная вершина (скажем,  $x_1$ ) выбирается в качестве отправной и образует первый элемент множества  $S$ , которое каждый раз будет хранить уже найденные вершины строящейся цепи. К  $S$  добавляется первая вершина (например, вершина  $a$ ) в столбце  $x_1$ . Затем к множеству  $S$  добавляется первая возможная вершина (например, вершина  $b$ ) в столбце  $a$ , потом добавляется к  $S$  первая возможная вершина (например, вершина  $c$ ) в столбце  $b$  и т.д. Под «возможной» вершиной понимают вершину, еще не принадлежащую  $S$ . Существуют две причины, препятствующие включению некоторой вершины на шаге  $r$  в множество  $S = \{x_1, a, b, c, \dots, x_{r-1}, x_r\}$ . Или (1) в столбце  $x_r$  нет возможной вершины, или (2) цепь, определяемая последовательностью вершин в  $S$ , имеет длину  $n-1$ , то есть является гамильтоновой цепью.

В случае (2):

а) в графе  $G$  существует дуга  $(x_r, x_1)$ , и поэтому найден гамильтонов цикл, или

б) дуга  $(x_r, x_1)$  не существует, и не может быть получен никакой гамильтонов цикл.

В случаях (1) и (2б) следует прибегнуть к возвращению, в то время как в случае (2а) можно прекратить поиск и напечатать результат (если требуется найти только один гамильтонов цикл) или (если нужны все такие циклы) произвести печать и прибегнуть к возвращению. Возвращение состоит в удалении последней включенной вершины  $x_r$  из  $S$ , после чего остается множество  $S = \{x_1, a, b, c, \dots, x_{r-1}\}$ , и добавлении к  $S$  первой возможной вершины, следующей за  $x_r$ , в столбце  $x_{r-1}$  матрицы  $M$ . Если не существует никакой возможной вершины, делается следующий шаг возвращения и т.д.

Поиск заканчивается в том случае, когда множество  $S$  состоит только из вершины  $x_1$  и не существует никакой возможной вершины, которую можно добавить к  $S$ , так что шаг возвращения делает множество  $S$  пустым. Гамильтоновы циклы, найденные к этому моменту, являются тогда всеми гамильтоновыми циклами, существующими в графе.

Пример 1. Рассмотрим граф, изображенный на рисунке [1]. Матрица  $M$  приводится ниже, вершины в каждом столбце расположены в алфавитном порядке:

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
1	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>c</i>	<i>a</i>
2	—	<i>e</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>d</i>	<i>b</i>
3	—	—	—	—	—	—

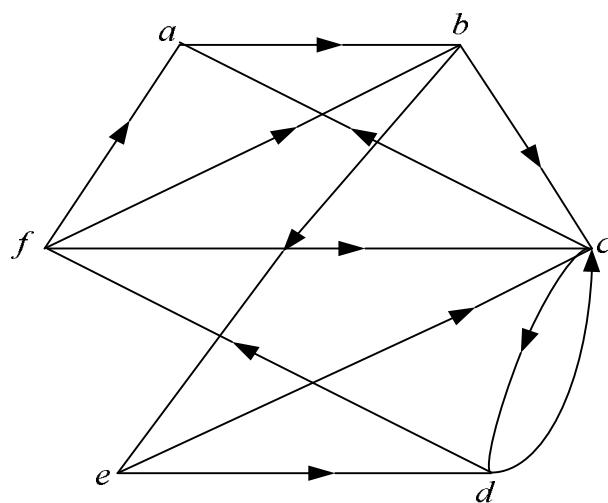


Рис. Граф из примера 1

Поиск гамильтоновых циклов производится так (вершина  $a$  берется в качестве отправной вершины):

<i>Множество <math>S</math></i>	<i>Комментарии</i>
1. $a$	Добавляем первую возможную вершину в столбце $a$ (то есть вершину $b$ )
2. $a, b$	Добавляем первую возможную вершину в столбце $b$ (то есть вершину $c$ )
3. $a, b, c$	Первая вершина ( $a$ ) в столбце $c$ не является возможной ( $a \in S$ ), добавляем следующую вершину в столбце (то есть вершину $d$ )
4. $a, b, c, d$	Добавляем вершину $f$
5. $a, b, c, d, f$	В столбце $f$ нет возможной вершины. Возвращение
6. $a, b, c, d$	В столбце $d$ не существует возможной вершины, следующей за $f$ . Возвращение
7. $a, b, c$	Аналогично предыдущему. Возвращение
8. $a, b$	Добавляем вершину $e$
9. $a, b, e$	Добавляем вершину $c$
10. $a, b, e, c$	Добавляем вершину $d$
11. $a, b, e, c, d$	Добавляем вершину $f$
12. <u><math>a, b, e, c, d, f</math></u>	Гамильтонова цепь. Дуга $(f, a)$ дает гамильтонов цикл. Возвращение
13. $a, b, e, c, d$	Возвращение
14. $a, b, e, c$	Возвращение
15. $a, b, e$	Добавляем вершину $d$
16. $a, b, e, d$	Добавляем вершину $f$
17. $a, b, e, d, f$	Добавляем вершину $c$
18. <u><math>a, b, e, d, f, c</math></u>	Гамильтонова цепь. Цепь замыкается дугой $(c, a)$ . Возвращение
19. $a, b, e, d, f$	Возвращение
20. $a, b, e, d$	Возвращение
21. $a, b, e$	Возвращение
22. $a, b$	Возвращение
23. $a$	Возвращение
24. $\emptyset$	Конец поиска

Основной метод перебора Робертса и Флореса может быть значительно улучшен по быстродействию, если ввести в первоначальный алгоритм проверку двух дополнительных условий [1].

Проверка этих условий будет, конечно, замедлять итеративную процедуру, и для небольших графов (менее, чем с 20 вершинами) не получается никакого улучшения первоначального алгоритма Робертса и Флореса. Но для больших графов эта проверка приводит к заметному сокращению необходимого времени вычислений, уменьшая его в два или более раз.

## **Литература**

1. Кристофицес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978.
2. Берж К. Теория графов и ее применение. М.: Мир, 1962.
3. Roberts S.M., Flores B. Fn engineering approach to the travelling salesman problem // Man. Sci. 1967. № 13. P. 269.
4. Roberts S.M., Flores B. Systematic generation of Hamiltonian circuits // Comm. Of ACM. 1966. № 9. P. 690.
5. Danielson G.H. On finding the simple paths and circuits in a graph // IREE Trans. CT-15. 1968. P. 294.
6. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1977.
7. Pósa L. A theorem concerning Hamilton lines // Magyar Tnd. Akad. Mt. Kutató Int. Közl. 1962. № 7. P. 225.
8. Nash-Williams, C. St. J. A. On Hamiltonian circuits in finite graphs // Proc. American Mathematical Soc. 1966. № 17. P. 466.
9. Ore O. Theory of Graphs // American Mathematical Society. 1962. Vol. XXXVIII.
10. Dhawan V. Hamiltonian circuits and related problems in graph theory. London: Imperial College, 1969.

# **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БАЗОВОГО ШАССИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ДОРОГАМ**

**К.С. Иванов, кандидат технических наук, доцент;**

**А.В. Широухов.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены колебания базового шасси пожарно-спасательного автомобиля, вызываемые неровностями дороги и оказывающие значительное влияние на его эксплуатационные качества: прежде всего на скорость движения и плавность хода. Динамические системы автомобиля рассматриваются как эквивалентные колебательные системы, и анализ динамических нагрузок проводится на основе систем дифференциальных уравнений, позволяющих исследовать динамические нагрузки различных типов пожарных автомобилей, смонтированных на двухосных, трехосных и многоопорных моторно-ходовых базах.

*Ключевые слова:* пожарно-спасательный автомобиль, колебательная система, неподрессоренная масса, дифференциальное уравнение колебаний, коэффициент упругого сопротивления

## **DIFFERENTIAL EQUATION OF OSCILLATION OF THE ELEMENTS OF THE BASE CHASSIS FIRE-RESCUE VEHICLE WHEN DRIVING ON THE ROADS**

K.S. Ivanov; A.V. Shiroukhov.

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

The article deals with the fluctuations of the fire-rescue vehicle caused by road irregularities and significant impact on its performance: primarily on speed and smoothness. Dynamic vehicle

system are treated as equivalent to the oscillating system, and the analysis of dynamic loads is based on systems of differential equations, allowing to investigate the dynamic loads of different types of fire-fighting vehicles, mounted on a 2-axial, 3-axial, and multisupport motor-running the bases.

**Keywords:** fire-rescue vehicle, oscillatory system, unsprung mass, differential equation of oscillation, coefficient of elastic resistance

Математическое моделирование исследуемых динамических систем может проводиться на основе систем дифференциальных уравнений. При исследовании колебаний динамические системы пожарно-спасательных автомобилей (ПСА) удобно рассматривать как эквивалентные колебательные системы. В общем случае колебательная система включает в себя несколько масс – подпрессоренных и неподпрессоренных частей, связанных между собой упругими и демпфирующими связями.

Подпрессоренной частью являются все элементы автомобиля, вес которых передается рессорам (упругим устройствам подвески). Элементы, вес которых не передается через упругие устройства подвески, являются неподпрессоренными элементами автомобиля. Таким образом, подпрессоренными элементами автомобиля являются кузов и рама с укрепленными на ней механизмами и оборудованием, а неподпрессоренными – колеса в сборе с осями (мостами).

Массы упругих элементов, рычагов направляющих устройств, амортизаторов, тяг рулевого привода и карданного вала относят частично к массе подпрессоренных, а частично к массе неподпрессоренных частей. Обычно массу этих частей условно делят между подпрессоренной и неподпрессоренными частями пополам.

Колебательная система, эквивалентная базовому шасси ПСА, специальное оборудование которого смонтировано на базовых машинах с колесными формулами 4x2 или 4x4, представлена на рис. 1. Подобные схемы имеют многие базовые шасси ПСА.

Подпрессоренная масса  $M$  и неподпрессоренные массы  $m_1$ ,  $m_2$  связаны упругими элементами (рессорами) с жесткостью  $2c_p$  и амортизаторами с коэффициентом сопротивления  $2k_p$  (характеризующим гасящее устройство подвески).

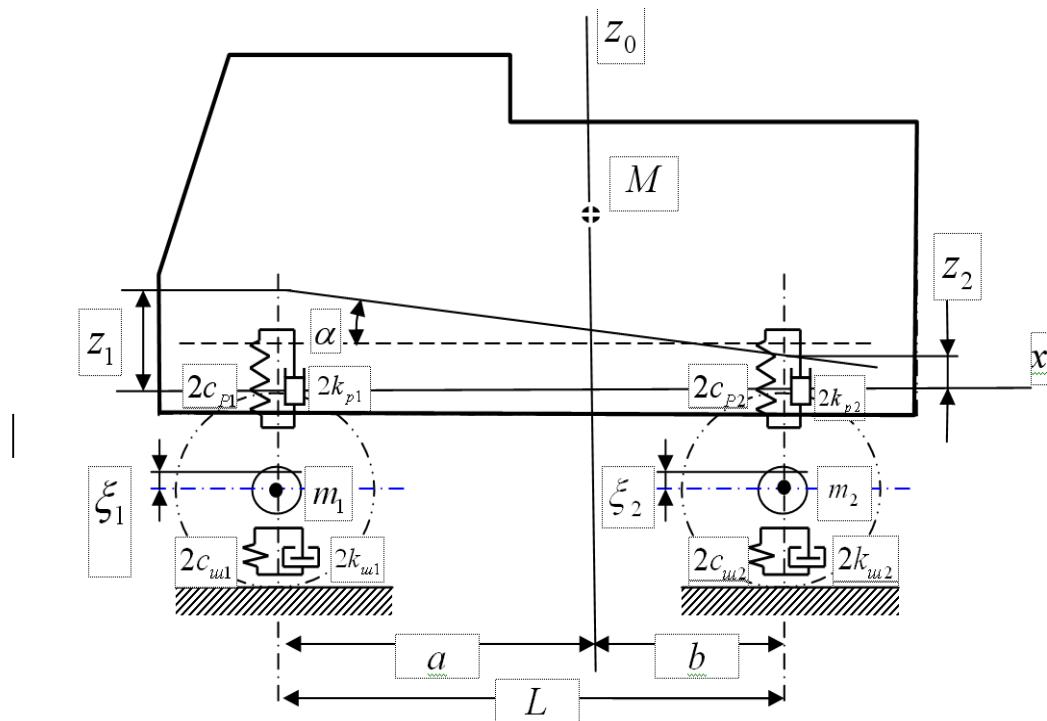
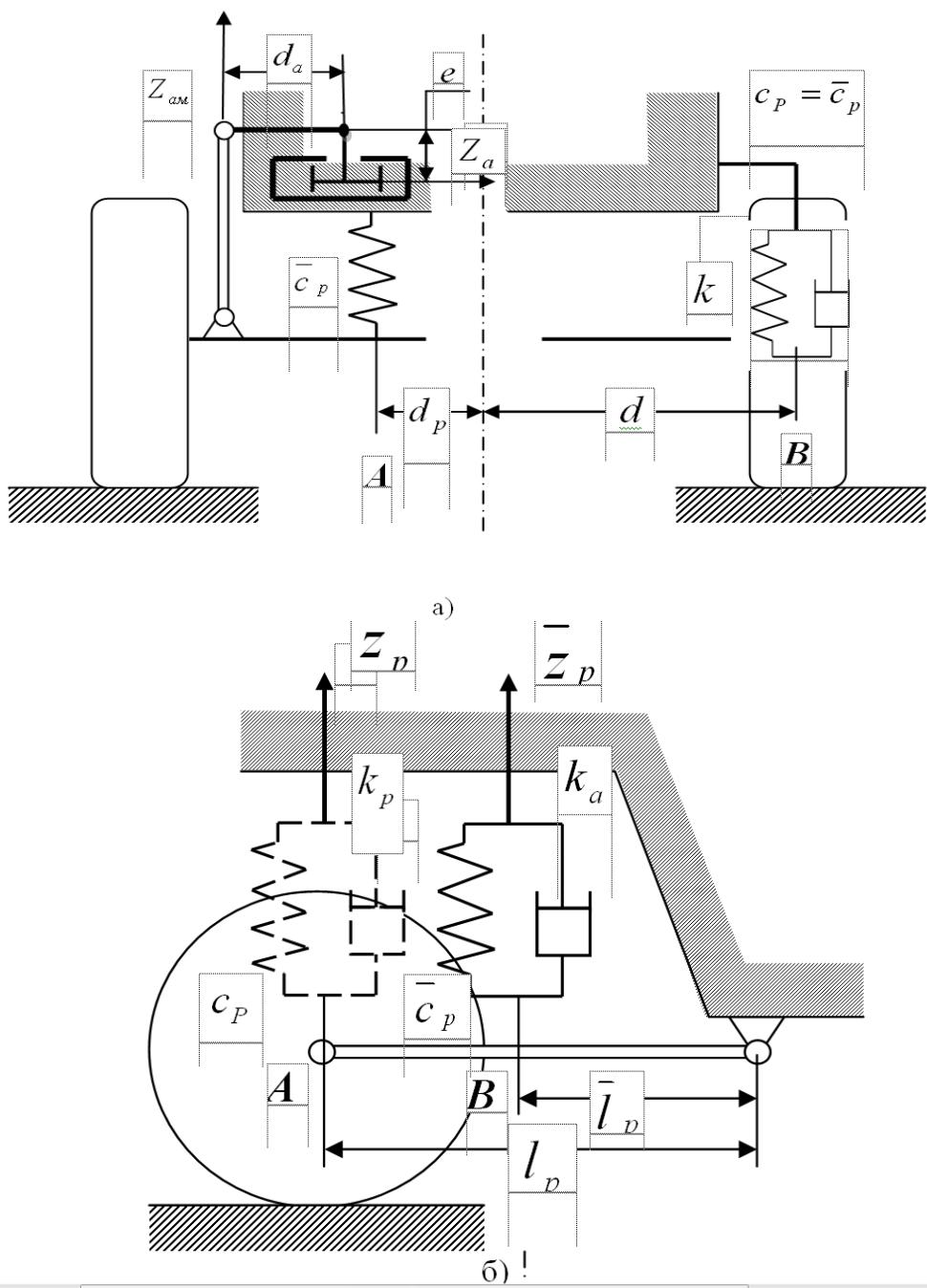


Рис. 1. Колебательная система, эквивалентная пожарному автомобилю

$M$  – подпрессоренная масса;  $m_1, m_2$  – неподпрессоренные массы;  $a$  – расстояние от проекции центра масс ПСА до переднего моста;  $b$  – расстояние от проекции центра масс ПСА до заднего моста;  $L$  – база ПСА.

Неподпрессоренные массы связаны с дорогой шинами, имеющими жесткость  $2c_u$  и коэффициент неупругого сопротивления  $2k_u$  (характеризующий затухание колебаний в шинах). Жесткость подвески  $c_p$  – величина, приведенная к колесе автомобиля, может отличаться от жесткости  $\bar{c}_p$  рессоры (упругого элемента подвески).

На рис. 2 представлены несколько схем подвесок. Для зависимой подвески при рассмотрении вертикальных колебаний (схема *а*)  $c_p = \bar{c}_p$ ; при независимой однорычажной подвеске (схема *б*) приведенная жесткость должна быть такой, чтобы момент от приведенного упругого элемента был равен моменту от истинного упругого элемента.



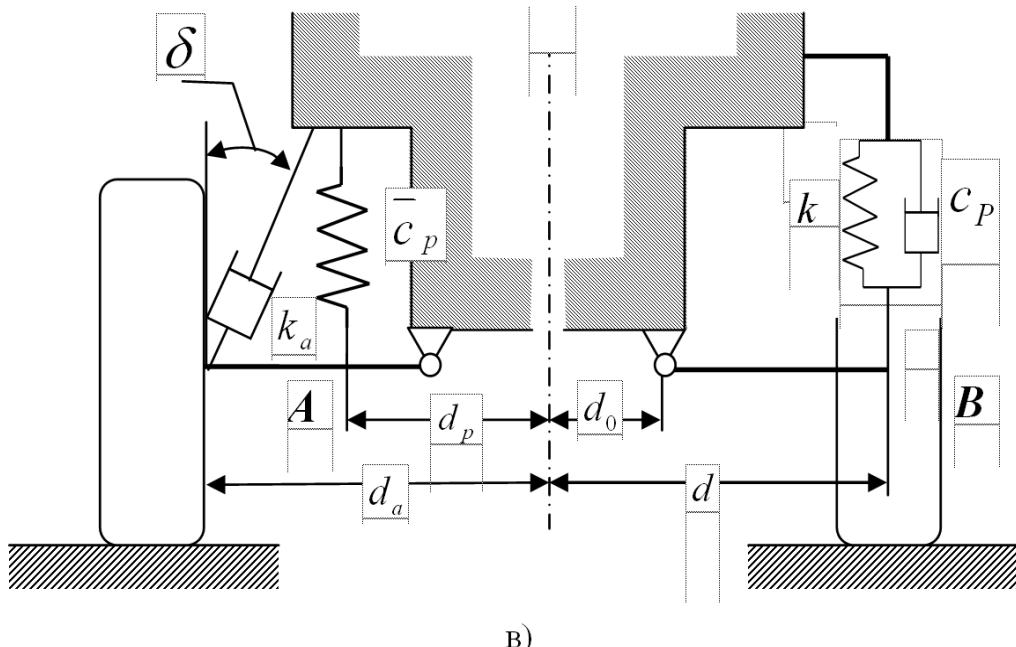


Рис. 2. Схемы подвесок с упругими элементами и амортизаторами

Между перемещениями  $\bar{z}_p$  и  $z_p$  точек  $A$  и  $B$  существует очевидная связь:

$$z_p = z_p \frac{l_p}{\bar{l}_p},$$

кроме того:

$$c_p z_p l_p = \bar{c}_p \bar{z}_p \bar{l}_p,$$

тогда:

$$C_p = \bar{C}_p \left( \frac{l_p}{\bar{l}_p} \right)^2.$$

Это выражение применимо для большинства рычажных подвесок. С учетом, например, обозначений схемы в получим:

$$c_p = \bar{c}_p \left( \frac{d_p - d_0}{d - d_0} \right)^2.$$

В общем случае величины  $C_P$  и  $\bar{C}_P$  могут быть в зависимости от деформации упругих элементов переменными. Тогда:

$$\bar{c}_P = \frac{dZ_P}{d\bar{f}_P}; \quad c_P = \frac{dZ}{df},$$

где  $f$  и  $\dot{f}_p$  – деформации упругих элементов;  $Z$  и  $Z_p$  – силы, деформирующие упругие элементы.

Характеристика металлических упругих элементов чаще всего линейна, а характеристика подвески, обусловленная влиянием рычажной связи, обычно нелинейна. При предварительных расчетах, связанных особенно с расчетом колебаний, жесткость  $c_p$  принимают постоянной [1].

Коэффициент сопротивления  $k_p$  условного амортизатора, характеризующего затухание колебаний в подвеске, также может отличаться от коэффициента сопротивления  $k_a$  реального амортизатора. При переходе от коэффициента  $k_a$  к коэффициенту  $k_p$  учитывают имеющуюся рычажную связь аналогично тому, как это делается при замене действительного упругого элемента приведенным. Например, при вертикальных колебаниях сила  $Z_{am}$  на конце рычага амортизатора (рис. 2a) связана с силой  $Z_a$ , действующей на поршни амортизатора, зависимостью  $Z_{am} = Z_a \frac{e}{d_a}$ . Полагая сопротивление амортизатора пропорциональным относительной скорости перемещения поршня амортизатора  $Z_a = k_a \dot{f}_{om}$  и учитывая равенство моментов сил  $Z_a$  и  $Z_{am}$ , перейдем от действительного амортизатора к приведенному (правая часть схемы). Тогда получим:

$$k_p = k_a \left( \frac{e}{d_a} \right)^2 .$$

Для схемы рис. 2б аналогично будем иметь:

$$k_p = k_a \left( \frac{\bar{l}_p}{l_p} \right)^2 .$$

Для схемы рис. 2в коэффициент сопротивления приведенного амортизатора (правая часть схемы) будет равен:

$$k_p = k_a \left( \frac{d_a - d_0}{d - d_0} \right)^2 \cos \delta .$$

В общем случае коэффициент сопротивления  $k_a = \frac{dZ_a}{d\dot{f}_{om}}$ , то есть равен тангенсу угла наклона касательной, проведенной в рассматриваемой точке к характеристике амортизатора:

$$Z_a = \Phi(\dot{f}_{om}),$$

где  $\dot{f}_{om}$  – относительная скорость перемещения амортизатора.

Колебания кузова в вертикальной продольной плоскости характеризующиеся поступательным перемещением центра масс  $Z_0$  вдоль вертикальной оси и угловыми колебаниями  $\alpha$  вокруг поперечной оси, оказывают основное влияние на плавность хода ПСА.

Колебания кузова в поперечной плоскости и вдоль продольной оси, влияют в основном на управляемость и устойчивость ПСА при действии боковых сил и не оказывают существенного влияния на динамическую нагруженность подпрессоренных масс.

ПСА представляет собой многомассовую колебательную систему.

Подпрессоренная масса фактически состоит из нескольких связанных масс: рамы, двигателя и кабины. С подпрессоренной массой через упругие элементы сидений связаны массы пассажиров. Поэтому автомобиль следовало бы заменить системой со многими степенями свободы. Однако, исходя из конкретных целей исследования и правильного учета физических особенностей колебаний автомобиля, при инженерных расчетах оказывается возможным свести весьма сложную систему к сравнительно простой (одной или нескольким системам). Большинство задач, связанных с колебаниями ПСА, можно решать, рассматривая ПСА как динамическую систему, состоящую из подпрессоренных и неподпрессоренных масс, совершающих колебания в вертикальной продольной плоскости. При движении по дорогам максимальные динамические нагрузки действуют на ПСА в вертикальной продольной плоскости, проходящей через центр тяжести подпрессоренных масс.

Обобщенные координаты, характеризующие положение подпрессоренных и неподпрессоренных масс при вертикальных колебаниях, могут быть выбраны по-разному.

Рассмотрим две системы обобщенных координат (рис. 1), где индексы 1 и 2 обозначают соответственно перемещения подпрессоренных и неподпрессоренных масс, расположенных над передними и задними колесами ПСА:

$$1) z_1, z_2, \xi_1, \xi_2;$$

$$2) z_0, \alpha, \xi_1, \xi_2.$$

Эти системы отличаются тем, что первая описывает колебания подпрессоренной части в продольной вертикальной плоскости координатами  $z_1$  и  $z_2$ , а вторая – координатами  $z_0$  и  $\alpha$  (рис. 1). Между координатами  $z_1, z_2$  и  $z_0, \alpha$  существует связь:

$$z_0 = \frac{az_2 + bz_1}{L}; \quad \alpha = \frac{z_2 - z_1}{L}, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – расстояния от проекции центра тяжести подпрессоренной части ПСА до переднего и заднего мостов;  $L$  – база ПСА (рис. 1).

Выражения (1) позволяют переходить от одной системы координат к другой. Используя первую систему координат, можно получить систему уравнений, определяющих линейные вертикальные колебания ПСА, при этом вторая система позволяет исследовать его продольные угловые колебания кузова [2].

Составим дифференциальные уравнения движения для колебательной системы, представленной на рис. 1. Принимая, что ПСА движется прямолинейно и равномерно, колебания кузова и колес малы, а характеристики всех элементов подвески линейны (в частности, коэффициенты  $c$  и  $k$  постоянны), а колеса обкатываются по неровностям дороги, сохраняя точечный, но постоянный контакт с ее поверхностью. При этом будем полагать, что возмущающие функции дорог, действующие на правые и левые колеса, одинаковы и симметричны.

Воспользуемся уравнением Лагранжа [3]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i}, \quad (2)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы;  $\Pi$  – потенциальная энергия системы;  $R$  – диссипативная функция, характеризующая рассеивание энергии при действии сил неупругих сопротивлений;  $q_i$  – обобщенная координата.

Кинетическая энергия системы является однородной квадратичной функцией обобщенных скоростей:

$$2T = M(\dot{z}_0^2 + \rho \dot{\alpha}^2) + m_1 \dot{\xi}_1^2 + m_2 \dot{\xi}_2^2,$$

где  $\rho_y$  – радиус инерции подпрессоренной массы относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести подпрессоренных частей.

Чтобы выразить кинетическую энергию через первую систему обобщенных координат, заменим переменные  $z_0$  и  $\alpha$  с учетом выражений (1).

Тогда получим:

$$2T = M_1 \dot{z}_1^2 + M_2 \dot{z}_2^2 + 2M_3 \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + m_1 \dot{\xi}_1^2 + m_2 \dot{\xi}_2^2,$$

где приведенные массы:

$$M_1 = M \frac{b^2 + \rho_y^2}{L^2}; \quad M_2 = M \frac{a^2 + \rho_y^2}{L^2}; \quad M_3 = M \frac{ab - \rho_y^2}{L^2}. \quad (3)$$

Как будет показано дальше, соотношение между радиусом инерции  $\rho_y$  и координатами центра тяжести имеет существенное значение. Это соотношение оценивается величиной  $\varepsilon_y = \rho_y^2 / ab$ , которая называется коэффициентом распределения масс ПСА [1]. Величина  $\varepsilon_y$  может быть найдена не только для подпрессоренной части, как в данном случае, но и для автомобиля в целом.

Выражение для потенциальной энергии будет иметь вид:

$$2\Pi = 2c_{p1}(z_1 - \xi_1)^2 + 2c_{p2}(z_2 - \xi_2)^2 + 2c_{u1}(\xi_1 - q_1)^2 + 2c_{u2}(\xi_2 - q_2)^2. \quad (4)$$

Диссипативная функция может быть выражена следующим образом:

$$2R = 2k_1(\dot{z}_1 - \dot{\xi}_1)^2 + 2k_2(\dot{z}_2 - \dot{\xi}_2)^2 + 2k_{u1}(\dot{\xi}_1 - \dot{q}_1)^2 + 2k_{u2}(\dot{\xi}_2 - \dot{q}_2)^2. \quad (5)$$

В зависимостях (4) и (5) обозначения приняты в соответствии с рис. 1.

Подставляя выражения для  $T$ ,  $\Pi$ ,  $R$  в уравнение Лагранжа (2), получим дифференциальные уравнения, описывающие колебания пожарного автомобиля:

$$\left. \begin{array}{l} M_1 \ddot{z}_1 + 2k_1 \dot{z}_1 + 2c_{p1} z_1 + M_3 \ddot{z}_2 - 2k_1 \dot{\xi}_1 - 2c_{p1} \xi_1 = 0; \\ M_2 \ddot{z}_2 + 2k_2 \dot{z}_2 + 2c_{p2} z_2 + M_3 \ddot{z}_1 - 2k_2 \dot{\xi}_2 - 2c_{p2} \xi_2 = 0; \\ m_1 \ddot{\xi}_1 + 2(k_1 + k_{ul}) \dot{\xi}_1 + 2(c_{p1} + c_{ul}) \xi_1 - 2k_1 \dot{z}_1 - 2c_{p1} z_1 = 2k_{lu} \dot{q}_1 + 2c_{lu} q_1; \\ m_2 \ddot{\xi}_2 + 2(k_2 + k_{ul}) \dot{\xi}_2 + 2(c_{p2} + c_{ul}) \xi_2 - 2k_2 \dot{z}_2 - 2c_{p2} z_2 = 2k_{lu} \dot{q}_2 + 2c_{lu} q_2 \end{array} \right\} \quad (6)$$

Система дифференциальных уравнений (6) описывает колебания ПСА в продольной вертикальной плоскости по линейным координатам.

Чтобы получить уравнения колебаний для второй системы координат, следует перейти в выражениях для  $\Pi$  и  $R$  от координат  $z_1$  и  $z_2$  к координатам  $z_0, \alpha$  в соответствии с зависимостями:

$$z_1 = z_0 - a\alpha; \quad z_2 = z_0 + b\alpha.$$

При этом вместо системы уравнений (6) получим:

$$\left. \begin{array}{l} M_0 \ddot{z}_0 + 2(k_1 + k_2) \dot{z}_0 + 2(c_{p1} + c_{p2}) z_0 - 2(k_1 a - k_2 b) \dot{\alpha} - 2(c_{p1} a - c_{p2} b) \alpha - \\ - 2k_1 \dot{\xi}_1 - 2c_{p1} \xi_1 - 2k_2 \dot{\xi}_2 - 2c_{p2} \xi_2 = 0; \\ M_Q \ddot{\alpha} + 2(k_1 a^2 + k_2 b^2) \dot{\alpha} + 2(c_{p1} a^2 + c_{p2} b^2) \alpha - 2(k_1 a - k_2 b) \dot{z}_0 - 2(c_{p1} a + c_{p2} b) z_0 + 2k_1 a \dot{\xi}_1 + \\ + 2c_{p1} a \xi_1 - 2k_2 b \dot{\xi}_2 - 2c_{p2} b \xi_2 = 0; \\ m_1 \dot{\xi}_1 + 2(k_1 + k_{ul}) \dot{\xi}_1 + 2(c_{p1} + c_{ul}) \xi_1 - 2k_1 \dot{z}_0 - 2c_{p1} z_0 + 2k_1 a \dot{\alpha} + 2c_{p1} a \alpha = 2k_{lu} \dot{q}_1 + 2c_{lu} q_1 \\ m_2 \ddot{\xi}_2 + 2(k_2 + k_{ul}) \dot{\xi}_2 + 2(c_{p2} + c_{ul}) \xi_2 - 2k_2 \dot{z}_0 - 2c_{p2} z_0 + 2k_2 b \dot{\alpha} + 2c_{p2} b \alpha = 2k_{lu} \dot{q}_2 + 2c_{lu} q_2 \end{array} \right\} \quad (7)$$

Системы уравнений (6) и (7) описывают одни и те же колебания пожарного автомобиля в продольной вертикальной плоскости. Существенная для практических целей разница между ними состоит в следующем. Если распределение подрессоренных масс таково, что  $\rho_y^2 = ab$ , то согласно выражениям (3)  $M_3 = 0$ . Поэтому система уравнений (6) распадается на две. Уравнения с координатами  $z_1$  и  $\xi_1$ , соответствующие колебаниям передней части кузова, перестают быть связанными с уравнениями для координат  $z_2$  и  $\xi_2$ , описывающими колебания задней части кузова. Это дает возможность существенно упростить расчеты. Такое упрощение справедливо во многих случаях [2].

На основе полученных уравнений колебаний ПСА в продольной плоскости можно рассматривать частные случаи, встречающиеся в расчетах.

Дифференциальные уравнения колебаний пожарных автомобилей позволяют на их основе разработать аналитические методики исследования динамических нагрузок ПСА с погрешностями не более 10 %. Эти методики могут использоваться на начальных стадиях проектирования (технического предложения и эскизного проекта) для анализа различных вариантов, разрабатываемых ПСА.

### **Литература**

1. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. М.: Машиностроение, 1972.
2. Иванов К.С., Грачев Е.В. Анализ динамических нагрузок, действующих на пожарные автомобили при движении по дорогам: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ин-т ГПС МЧС России. 2005. 37 с.
3. Яблонский А.А. Курс теоретической механики: учеб. 9-е изд. СПб.: Лань, 2004. 768 с.

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЕЛЬНО К ОБЪЕКТАМ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

**Н.Б. Маркова;**

**М.Р. Сытдыков, кандидат технических наук;**

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель  
науки Российской Федерации.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлена оценка эффективности модулей порошкового тушения на основе сравнения величин импульсов этих модулей и требуемых для тушения пожаров, которая показывает области возможного применения модулей пожарных автомобилей порошкового тушения.

*Ключевые слова:* модуль порошкового тушения, оценка технической эффективности, метод анализа размерностей, безразмерный комплекс, импульс

## **ESTIMATION OF TECHNICAL EFFICIENCY MODULES POWDER EXTINGUISHING RELATION TO OIL AND GAS FACILITIES**

N.B. Markova, M.R. Sytdykov, A.S. Polyakov.

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

Presents the evaluation of the effectiveness of the modules of powder extinguishing based on a comparison of the magnitudes of the pulses of these modules and required for extinguishing fires, which indicates areas of possible application modules fire trucks powder extinguishing.

*Keywords:* module powder extinguishing, evaluation of technical efficiency, dimensional analysis, dimensionless complex, impulse

Установки порошкового тушения (УПТ), как правило, реализованы с помощью специальных модулей – технологического оборудования для хранения и вытеснения огнетушащих порошков, конструктивно размещенного на стационарных или мобильных платформах.

Особенность предназначения и специфические особенности конструкции УПТ таковы, что к ним не в полной мере могут быть отнесены классические определения эффекта и эффективности [1]. Имеют место случаи, когда подобная техника завершает свой жизненный цикл, не будучи использованной по целевому назначению ни разу, хотя затраты на производство и эксплуатацию существенны [2].

В этом случае целесообразно вести речь о технической эффективности, которая характеризует потенциальные возможности той или иной конструкции УПТ без учета затраченных средств. Именно с этих позиций в статье рассмотрена эффективность модулей порошкового тушения.

При оценке технической эффективности таких модулей во внимание принятые показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Показатели, влияющие на эффективность модулей порошкового тушения

Показатели	Символы	Единицы измерения
Кинематическая вязкость аэрозоля	$\nu$	$\text{м}^2/\text{с}$
Масса огнетушащего порошка	$M_n$	кг
Расход порошка при тушении пожара	$Q_n$	кг/с
Дальность подачи порошка лафетным и ручным стволами	$L_n$	м
Рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка	$p_n$	Па
Остаток огнетушащего порошка после применения по назначению	$\Delta m$	кг

Для комплексной оценки эффективности методом анализа размерности [3], по данным табл. 1, сформированы безразмерные обобщенные комплексы (табл. 2).

Таблица 2. Обобщенные комплексы порошковых модулей и их физическая сущность

Обобщенные комплексы (первичные)	Обобщенные комплексы (преобразованные)	Соотношения размерностей обобщенных комплексов	Физическая сущность комплексов и симплексов
$\pi_1 = \frac{\nu \cdot p_n^2 \cdot M_n^3}{Q_n^5}$	$\pi^{-1} = \frac{Q_n^5}{\nu \cdot p_n^2 \cdot M_n^3}$	$[\pi_1^{-1}] = \left( \frac{\kappa \cdot c}{\kappa \cdot c} \right)^5 = 1$	Удельный расход аэрозоля
$\pi_2 = \frac{L_n \cdot p_n \cdot M_n}{Q_n^2}$	$\pi_2 = \frac{L_n}{Q_n^2 \cdot p_n^{-1} \cdot M_n^{-1}}$	$[\pi_2] = \left( \frac{M}{M} \right) = 1$	Удельная дальность полета аэрозоля
$\pi_3 = \frac{\Delta m}{M_n}$	—	$[\pi_3] = \frac{\kappa \cdot c}{\kappa \cdot c} = 1$	Удельный остаток массы порошка
$\pi_4 = \frac{\pi_2}{\pi_1 \cdot \pi_3} = \frac{L_n \cdot Q_n^3}{\nu \cdot p_n \cdot M_n \cdot \Delta m}$	—	$[\pi_4] = \frac{M \cdot \left( \frac{\kappa \cdot c}{\kappa \cdot c} \right)^3}{M \cdot \left( \frac{\kappa \cdot c}{\kappa \cdot c} \right)^3} = 1$	Коэффициент технической эффективности модуля порошкового тушения

Расчетные значения этих показателей получены по численным значениям единичных показателей модулей ряда пожарных автомобилей порошкового тушения (АП) с учетом вязкости вытесняющего газа (сухого воздуха), равной  $79,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  (табл. 3).

Таблица 3. Расчетные значения обобщенных комплексных показателей модулей порошкового тушения

Обобщенные комплексы	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000-60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
	1	2	3	4	5	6	7
$\pi_1 \cdot 10^{-8}$	969	318	318	5	358	10	37
$\pi_2 \cdot 10^{-6}$	125	60	100	18	51	23	25
$\pi_3$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$\pi_4 \cdot 10^3$	13	19	31	353	15	227	69

Из данных табл. 3 видно, что у всех модулей безразмерный комплекс  $\pi_3=0,1$ . Показатели  $\pi_1$  и  $\pi_2$  имеют существенно другие численные значения.

Следовательно, входящая в комплекс  $\pi_3$  величина остатка массы  $\Delta m$  огнетушащего порошка (после применения модуля по назначению) затмевает влияние других единичных показателей качества, представленных в табл. 1. Этот факт иллюстрируют рис. 1–3, где отражена взаимосвязь коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  с другими комплексными показателями ( $\pi_1$ ,  $\pi_2$ ,  $\pi_3$ ) при довольно высокой корреляции между ними.

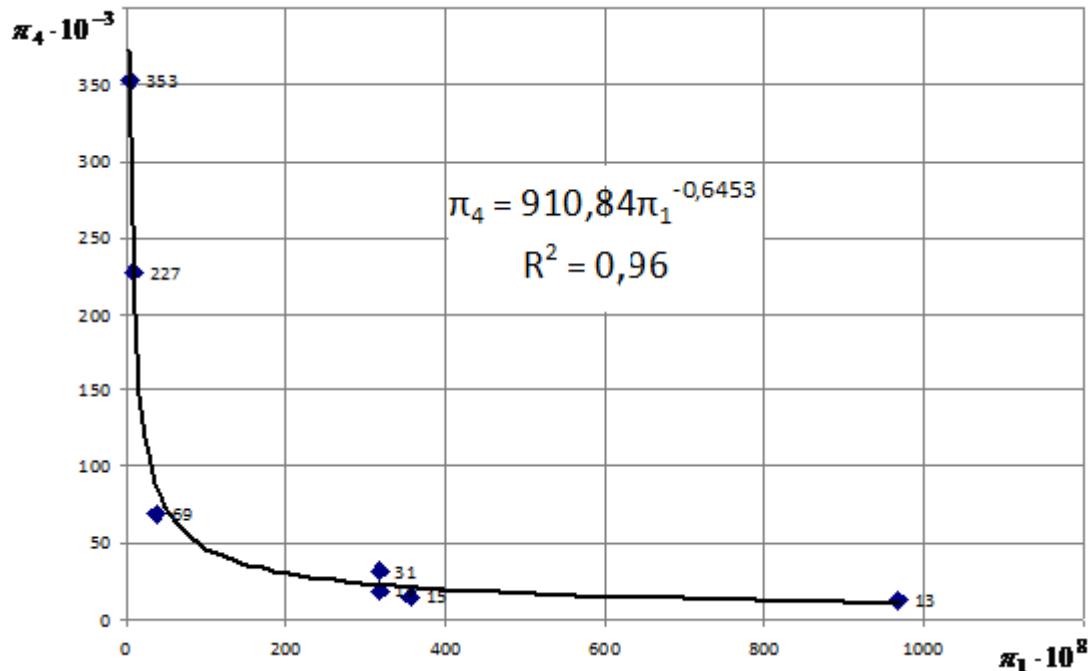


Рис. 1. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  от удельного расхода аэрозоля  $\pi_1$

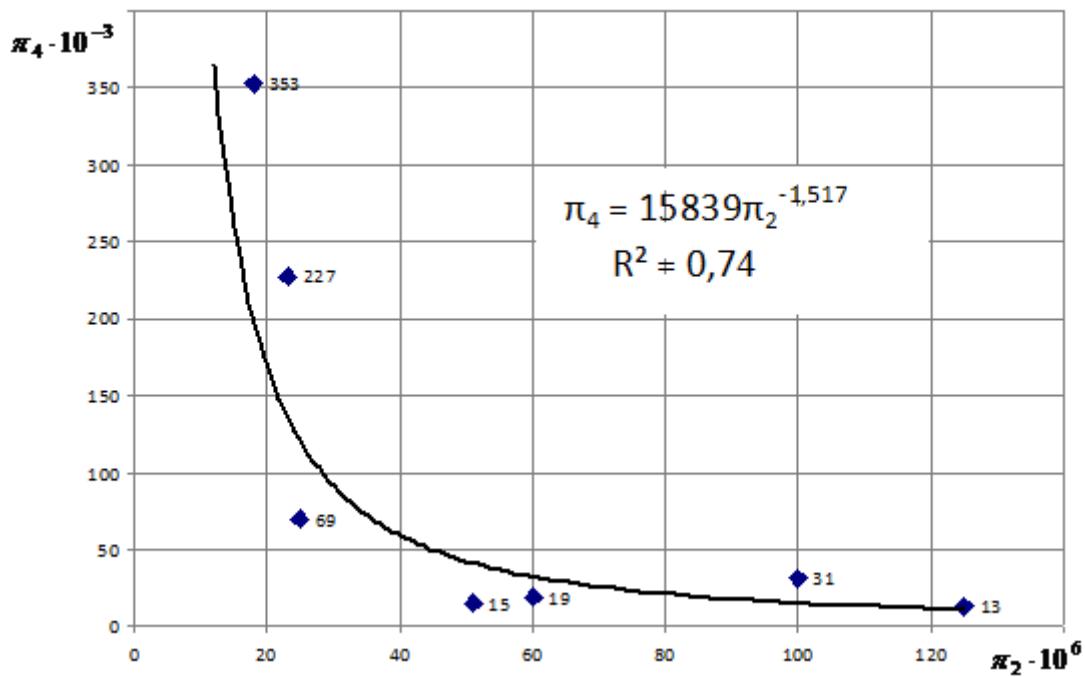


Рис. 2. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  от удельной дальности полета аэрозоля  $\pi_2$

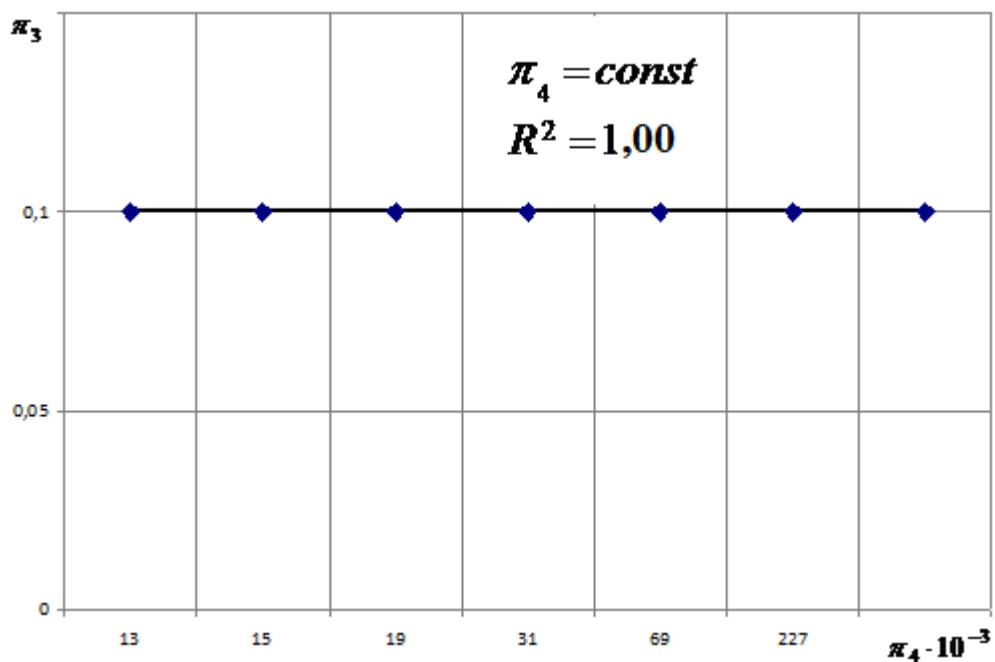


Рис. 3. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  от удельного остатка массы аэрозоля  $\pi_3$

Как видно из графиков, коэффициент технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  не зависит от численных значений комплексного показателя  $\pi_3$ . Поэтому далее оценка эффективности дана только с использованием показателей  $\pi_1$  и  $\pi_2$ . Для этого, перемножив  $\pi_1^{-1}$  и  $\pi_2$ , получили:

$$\pi_5 = \frac{L_n \cdot Q_n^3}{p_n \cdot v \cdot M_n^2}. \quad (1)$$

Уравнение (1) для понимания физического смысла преобразовано к следующему виду:

$$\pi_5 = \frac{L \cdot Q_n}{p \cdot v \cdot M^2} \cdot \frac{1}{Q_n^{-2}} = \frac{I_k}{I_0}. \quad (2)$$

В уравнении (2), в соответствии с физической сущностью механизма истечения огнетушащего вещества (ОТВ), представлены:

- величина  $L \cdot Q = I_k$  – импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени;
- величина  $\frac{p \cdot v \cdot M^2}{Q_n^2} = I_0$  – импульс ОТВ при истечении из модуля тушения

(на срезе лафетного ствола).

В этом случае можно утверждать, что величина комплексного показателя  $\pi_5$  характеризует потенциальную возможность модуля средств пожаротушения: и чем она выше, тем эффективнее модуль.

Оценка эффективности модулей проведена расчетным методом для двух сценариев реализации пожароопасных ситуаций и пожаров:

- факельное горение струи газа или жидкости;
- горение пролива в обваловании, вследствие полного разрушения в нем резервуара с нефтью или нефтепродуктом.

При реализации рассматриваемых сценариев на основе зависимости (2) путем сравнения импульсов модулей пожарных автомобилей ( $L_n \cdot Q_n$ ) и требуемых для тушения факела ( $L_\phi \cdot Q_\phi$ ) или пролива ( $J_n \cdot V_n$ ) могут быть решены две практические задачи:

– определены области возможного применения модулей для тушения факелов соответствующего дебита или проливов на соответствующей площади;

- проведена сравнительная оценка (ранжирование) эффективности модулей.

В обоих случаях приняты значения:

$L_\phi = 60$  м – безопасное удаление техники и людей от горящего факела [4];

$Q_\phi$  – необходимый расход ОТВ (кг/с) в точке гашения пламени при времени тушения 30 с [5];

$V_n$  – номинальный объем резервуаров вертикальных стальных (РВС) со стационарной крышей, как наиболее пожароопасных, в соответствии с требованиями [6];

$J_n = 0,35$  кг/(м<sup>2</sup>·с) – интенсивность подачи порошка при тушении пролива нефти по справочнику [7].

Согласно «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности: СП 155.13130.2014» [8], РВС со стационарной крышей размещают группами, в замкнутых обвалованиях, допустимая общая номинальная вместимость которых не должна превышать 80 000 м<sup>3</sup> (с единичным номинальным объемом резервуара – 50 000 м<sup>3</sup>). Расчетный объем вместимости обвалования должен быть не менее объема наибольшего резервуара этой группы.

Характеристики горящих фонтанов, проливов нефти в обваловании и ОТВ при реализации обоих сценариев представлены в табл. 4, 5.

Таблица 4. Характеристики горящих фонтанов и ОТВ [9]

Дебит фонтана газа (млн м <sup>3</sup> /сут) или нефти (тыс. м <sup>3</sup> /сут)	0,5	1	2	3	4	5	6	7
Требуемая масса порошка для тушения фонтана $M$ , кг	55	130	250	430	690	1020	1460	2000
Необходимый расход порошка $Q_\phi$ , кг/с	1,8	4,3	8,3	14,3	23	34	48,7	66,7
Требуемый импульс порошка на тушение факела $L_\phi \cdot Q_\phi$ , (кг·м/с)	108	258	498	858	1380	2040	2922	4002

Таблица 5. Взаимосвязь объема пролива нефти в обваловании и требуемого импульса порошка на его тушение (на примере размещенного в нем одного РВС)

Объем нефти в обваловании $V_n$ , м <sup>3</sup>	1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
Требуемый импульс порошка на тушение пролива нефти, $J_n \cdot V_n$ , (кг·м)/с	350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500

Технические характеристики серийных АП даны в табл. 6.

Таблица 6. Характеристики модулей серийных АП [10]

Показатели	Характеристики модулей АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000-60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130), мод. 148-А
Расход порошка $Q_n$ , (кг/с)	40	50	50	40	40	80	40
Дальность струи порошка $L_n$ , м	40	30	50	35	30	45	32
Запас порошка $M$ , кг	5000	5000	5000	1000	6300	4000	3100
Импульс порошка $L_n \cdot Q_n$ , (кг·м/с)	1600	1500	2500	1400	1200	3600	1280

Результаты оценки эффективности модулей порошкового тушения приведены в табл. 7 и 8, в которых (на основе сравнения величин импульсов) показаны области возможного и нецелесообразного применения модулей АП.

Таблица 7. Области применения модулей для тушения горящих факелов

Характеристики модулей АП		Дебит фонтана газа (млн м <sup>3</sup> /сут) или нефти (тыс. м <sup>3</sup> /сут)							
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Требуемый импульс порошка для тушения фонтана, $L_f \cdot Q_f$ , (м·кг)/с									
Марки АП	Импульс $L_n \cdot Q_n$ , (м·кг)/с	108	258	498	858	1380	2040	2922	4002
АП-5000 (53215)	1600	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообразно		
АП-5000 -60 (53215)	1500	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообразно		
АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	2500	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообр.		
АП-1000-40 (5301 БО)	1400	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообразно		
АП-5 (53213), мод. 196	1200	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно			
АП-4 (43105), мод. 222	3600	Применение для тушения возможно							Не цел.
АП-3 (130), мод. 148-А	1280	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно			

Таблица 8. Области применения модулей для тушения пролива нефти в обваловании

Характеристики модулей АП		Объем нефти в обваловании, м <sup>3</sup>								
		1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
		Импульс порошка на тушение пролива нефти, $J_n \cdot V_n$ , (кг·м)/с								
Марки АП	Импульс $L_n \cdot Q_n$ , м·кг/с	350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500
АП-5000 (53215)	1600	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-5000 -60 (53215)	1500	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	2500	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно				

Характеристики модулей АП		Объем нефти в обваловании, м <sup>3</sup>								
		1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
Марки АП	Импульс $L_n \cdot Q_n$ м·кг/с	Импульс порошка на тушение пролива нефти, $J_n \cdot V_n$ , (кг·м)/с								
		350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500
АП-1000-40 (5301 БО)	1400	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-5 (53213), мод. 196	1200	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-4 (43105), мод. 222	3600	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно				
АП-3 (130), мод. 148-А	1280	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					

Из полученных данных видно, что оценка эффективности модулей АП для тушения по обоим сценариям (факельное горение и горение пролива) дана в нечетких терминологических формулировках «Применение для тушения возможно» и «Применение для тушения нецелесообразно». Это объясняется тем, что импульс аэрозоля (движущегося ОТВ) оценен только по модулю, но фактически он является векторной величиной. Поэтому в реальной обстановке (с учетом температуры и давления окружающей среды, направления ветра, качественного состояния и расположения техники на местности, навыков личного состава в тушении пожаров этого типа, правильности оценки руководителем тушения пожара степени опасности ситуации и др.) эффективность техники может быть иной и, как правило, меньшей.

Представленные в статье результаты могут быть использованы при отработке типажа средств пожаротушения для горящих газовых и нефтяных фонтанов, проливов нефти и нефтепродуктов в обваловании, разработке технических требований на проектирование конкретных образцов модулей порошкового пожаротушения и подборе образцов серийных АП для защиты действующих опасных объектов нефтегазовой отрасли.

### Литература

1. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).
2. Маркова Н.Б., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Обеспечение эксплуатационной надежности пожарных автомобилей порошкового тушения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 1.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977. С. 440.
4. ППБО-85. Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).
5. Иванников В.П., Клюс П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. С. 288.
6. ГОСТ 31385–2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).

7. Теребнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожтехника, 2004. С. 248.
8. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).
9. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожара. М., 2004. С. 361.
10. Маркова Н.Б., Филановский А.М., Поляков А.С. Комплексная оценка технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 3 (31). С. 17–23.

## **РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА И УГРОЗЫ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ**

**В.В. Антонченко, кандидат юридических наук.**

**Дальневосточная пожарно-спасательная академия МЧС России – филиал  
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, г. Владивосток**

Исследованы характер радиационных источников и степень радиационной опасности для населения на некоторых территориях Дальневосточного региона России. Методом объективного наблюдения с использованием технических средств и регистрацией результатов установлено, что радиационное воздействие отличается многообразием условий, разновидностей и видов облучения, а радиационная обстановка в немалой степени характеризуется близостью объектов ядерно-технологического и военно-промышленного комплексов. Вместе с тем радиационный фон на исследованных территориях находится в пределах нормы и не представляет опасности для человека.

*Ключевые слова:* радиационная безопасность, радиационное загрязнение, Дальний Восток

## **RADIOLOGICAL SITUATION AND THE THREAT OF RADIOACTIVE CONTAMINATION ON THE RUSSIAN FAR EAST**

V.V. Antonchenko. Far East fire and rescue Academy – branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Vladivostok

Investigate the nature of radiation sources and the radiation hazard for the population in some areas of the Far Eastern region of Russia. Method of objective observation using technical means and recording the results found that the radiative forcing is diverse conditions, varieties and types of radiation, and radiation environment largely characterized by the proximity of the nuclear-technological and military-industrial complexes. However, the radiation background in the study area is within the normal range and poses no danger to humans.

*Keywords:* radiation safety, radiation pollution, Far East Russia

Актуальность информации об источниках радиационной опасности для населения трудно переоценить. В данной статье использованы собственные наблюдения автора, связанные с замерами радиационного фона (мощности экспозиционной дозы гамма-излучения) на территориях Дальнего Востока России (прежде всего, в городах Приморского края) (при полевых исследованиях автором использовался дозиметр-радиометр ДКС-96

со статистической погрешностью измерений 6 %), а также опубликованные в открытых научных источниках и средствах массовой информации сведения, представляющие интерес в данной сфере.

Сегодня радиационная обстановка на территориях Дальнего Востока в целом удовлетворительная (площадь Дальневосточного федерального округа составляет 6 169 329 км<sup>2</sup>, что составляет 36,08 % площади всей страны (самый большой по площади федеральный округ). Численность населения округа по данным Росстата составляет 6 226 640 чел., плотность населения – 1,01 чел./км<sup>2</sup>, городское население – 75,28 % (данные на 2014 г.). Радиационный фактор не является ведущим фактором вредного воздействия на здоровье населения региона. Вклад в годовую эффективную коллективную дозу облучения населения Приморского края по видам облучения в 2014 г. можно оценить в следующих цифрах: природное – 79,8 %, медицинское – 20 %, техногенное – 0,2 %.

Радиационная обстановка в дальневосточных субъектах Российской Федерации, характеризующаяся уровнем мощности дозы гамма-излучения, не превышает характерных для данных территорий многолетних сложившихся значений (природный радиационный фон) и составляет на открытой местности в среднем: в Приморском крае – 0,12 мкЗв/час, в Хабаровском крае – 0,10 мкЗв/час, в Амурской области – 0,09 мкЗв/час, в Сахалинской области – 0,13 мкЗв/час.

Сегодня есть все основания полагать, что основным источником радиационной угрозы для населения Дальнего Востока, так же как и других территорий России являются природные источники ионизирующего излучения. Измерения, выполненные на территориях Приморского, Хабаровского краев, Амурской области и Сахалина, свидетельствуют о том, что эта проблема крайне актуальна. Дальневосточники (в основном жители домов частного сектора и квартир первых этажей) получают только за счет радона эффективные дозы в десятки мЗв за год. Оценки, основанные на обобщенных данных Министерства здравоохранения Российской Федерации, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, показывают, что не менее 1,5 % жителей региона получают за счет радона эффективные дозы, достигающие более 20 мЗв в год.

Второй по величине вклад в суммарную дозу облучения населения вносит применение источников ионизирующей радиации в медицинских целях, среди которых главным дозообразующим фактором была и остается рентгеновская диагностика. Коллективная годовая эффективная доза облучения населения, например Приморского края, за счет диагностических медицинских источников ионизирующего излучения составила 1082,87 чел./Зв, что соответствует средней индивидуальной дозе 0,55 мЗв/год в среднем на одного жителя Приморского края (0,55 мЗв/чел), что ниже среднего показателя по Российской Федерации – 0,59 мЗв/чел.

В структуре коллективной дозы, создаваемой за счет медицинского облучения, ведущее место занимают рентгенографические (36,7 %) и флюорографические (32,8 %) исследования.

В последнее десятилетие спад ежегодно проводимых рентгеновских исследований приостановлен, однако, несмотря на это, средний годовой уровень медицинского облучения населения России уменьшился с 1,2 до 1,0 (и менее) мЗв. Уменьшению средних доз медицинского облучения, прежде всего, способствует значительно обновившийся за это время низкодозовыми установками парк флюорографической аппаратуры, введением раздельного учета доз облучения пациентов при цифровых и пленочных рентгенодиагностических исследованиях, а также переходом от расчетных к инструментальным методам контроля доз пациентов [1].

Анализ вклада в лучевую нагрузку от профессионального использования источников ионизирующего излучения на протяжении пяти лет показал, что годовые эффективные дозы облучения персонала техногенными источниками ионизирующего облучения составили: более 5 мЗв – 4,0 %, от 1–5 мЗв – 39,5 %, 0–1 мЗв – 56,5 % от общего числа всего персонала.

По результатам индивидуального дозиметрического контроля годовые дозы облучения персонала не превышают установленные гигиенические нормативы.

К числу ведущих причин техногенного радиоактивного загрязнения территорий с учетом масштабов влияния на здоровье населения Дальневосточного региона и общее состояние биосфера относится, прежде всего, поступление радионуклидов в окружающую среду при эксплуатации атомного флота, радиационное воздействие ядерно-топливного цикла в условиях нормальной эксплуатации и аварийных ситуаций и при выводе из эксплуатации отслуживших нормативный срок объектов использования атомной энергии, выделение радона и продуктов его эманации из земной коры в различных физико-географических регионах.

Радиационная обстановка в Дальневосточном регионе России в немалой степени характеризуется близостью объектов ядерно-технологического и военно-промышленного комплексов к местам компактного и массового проживания людей. Среди категорий облучаемых лиц можно выделить персонал, население зон наблюдения радиационно-опасных объектов, население, проживающее на территориях, загрязненных вследствие прошлых радиационных аварий.

Естественное беспокойство жителей юга Дальнего Востока вызывает атомный подводный флот, базирующийся вблизи крупных городов. От пунктов базирования кораблей Тихоокеанского флота, оснащенных атомными энергетическими установками, и районов захоронения радиоактивных отходов г. Владивосток отделен морским пространством Уссурийского залива, заливом Стрелок и южной частью залива Петра Великого. Расстояние между ними 30–100 км, что, по мнению специалистов-радиологов и экологов, в условиях безаварийной эксплуатации атомных кораблей флота полностью гарантирует г. Владивостоку радиоэкологическую безопасность. Судоремонтный завод, расположенный в Приморском крае, на побережье залива Петра Великого, в бухте Большой Камень, длительное время ремонтировал атомные подводные лодки (АПЛ). Сейчас это предприятие занимается утилизацией списанных АПЛ. В бухте Сысоева расположена береговая техническая база по обслуживанию АПЛ. В бухте Павловск на плаву хранились несколько АПЛ, содержащих отработавшее ядерное топливо (ОЯТ). Указанные факты вызывали обоснованное опасение у специалистов [2, 3].

Несмотря на то, что в районах, приближенных к потенциальным источникам радиоактивного загрязнения морской среды, концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в воде несколько выше, чем в открытом море, исследования радиоактивного загрязнения акватории Японского моря свидетельствуют о его радиационной безопасности [4, 5].

Радиоактивность морской воды, донных отложений, фауны и флоры залива Петра Великого зависит от содержания в них природных и искусственных радионуклидов, поступающих в виде глобальных выпадений и образующихся в результате эксплуатации атомных кораблей флота. Природная радиоактивность морской воды на 98–99 % определяется излучением калия-40, а так как соединения калия вместе с другими элементами обусловливают соленость морской воды, степень ее выраженности тесно связана с уровнем природного радиационного фона. Принято считать, что изменение солености на 1 % приводит к изменению радиоактивности морской воды по калию-40 на 370 Бк/м<sup>3</sup>. Вариации солености морской воды в течение года на акватории залива Петра Великого могут составлять 10–20 %. Соответственно в таких же пределах изменяется и природная радиоактивность морской воды. Весной и осенью в вершине Амурского залива соленость составляет 28 %, Уссурийского – 32,5 %, летом – 20 и 26 % соответственно. В открытых районах залива Петра Великого на поверхности соленость в течение всего года находится в пределах 32–33 %. Зимой соленость достигает максимума и составляет 32–34 %. Формирование природного поля радиоактивности в акватории залива Петра Великого происходит также в результате выноса реками большого количества пресной воды, которая хотя и снижает содержание радиоактивности морской воды по калию-40, но одновременно за счет привнесения почвы увеличивает концентрацию природных радионуклидов ураново-ториевого типа.

Результаты независимых исследований позволяют сделать заключение, что дислокация в регионе судов с ядерными силовыми установками и ядерным оружием не приводит к глобальному и региональному загрязнению этих районов и не оказывает заметного влияния на изменение радиоэкологической обстановки в заливах Приморья. Радиоактивность объектов внешней среды прибрежной зоны Приморского и Хабаровского края на 98–99 % определяется излучением природных радионуклидов, продуктами глобальных выпадений и не более 1–2 % приходится на искусственные радионуклиды, образовавшиеся в результате длительной эксплуатации кораблей Тихоокеанского флота ВМФ России, оснащенных атомными энергетическими установками. В целом радиоэкологическая обстановка в северо-западной части Японского моря в настоящее время может быть охарактеризована как нормальная.

Анализ радиоэкологической обстановки на юге Приморского края показывает, что за пределами пунктов базирования и обеспечения кораблей Тихоокеанского флота, оснащенных атомными энергетическими установками, концентрации искусственных радионуклидов не превышает фоновые значения. Радиоактивность атмосферных выпадений определялась, в основном, долгоживущими радионуклидами естественного происхождения (продуктами распада урана-238 и тория-232, калием-40 и космогенным бериллием-7).

Среднегодовая плотность выпадений на территории Приморского края на протяжении пяти лет остается практически без изменений. Средневзвешенное значение среднесуточной суммарной бета-активности выпадений по дальневосточным субъектам России составляет 1,0  $\text{Бк}/\text{м}^2$  сутки и не превышает средневзвешенного значения по Азиатской территории России (1,6  $\text{Бк}/\text{м}^2$  сутки).

По результатам исследований объектов окружающей среды, превышения гигиенических нормативов содержания радиоактивных веществ не выявлено. Радиационно-гигиеническое воздействие на население и окружающую среду Приморья в основном определяется космическим излучением, радиоактивным распадом природных радионуклидов и продуктами глобальных выпадений.

Серьезным искусственным источником загрязнения окружающей среды на акваториях северо-западной части Японского моря остаются продукты радиационной аварии, произошедшей в 1985 г. в бухте Чажма. Эти искусственные радионуклиды в значительных количествах содержатся в донных отложениях. Бухта Чажма расположена на расстоянии 36 км восточнее г. Владивостока. Сразу после аварии специалисты Тихоокеанского флота и радиационного научного центра «Курчатовский институт» оценили радиационную ситуацию и констатировали, что г. Владивосток и восточное побережье Приморья не попадают в зону сплошного радиоактивного загрязнения. Для подтверждения данного положения 29 августа 1985 г., то есть через несколько дней после аварии, в г. Владивостоке и пригородах были отобраны пробы различных объектов внешней среды. Содержание стронция-90 во всех местах отбора проб в морской воде, донных отложениях, почве и наземной растительности (разнотравье) соответствовало фоновым значениям. В объектах внешней среды концентрации цезия-137 и кобальта-60 также не превышали фона. Такие же данные были получены и по радионуклидному составу питьевой воды [3, 6, 7].

Несколько повышенное содержание искусственных радионуклидов по сравнению с обследованными районами г. Владивостока наблюдалось в наземной растительности на побережье бухты Лазурная. Концентрация церия-144 оказалась выше в 1,5–2 раза, кобальта-60 – в 2–3 раза, цезия-137 в 6–7 раз, стронция-90 – осталась на уровне фона. В целом, при принятии решения о факте загрязнения эти показатели соответствовали бы не более 0,001 уровня предельно допустимой концентрации. В морской воде и почве уровень радионуклидов не выходил за пределы нормы.

В 2013–2014 гг. на территориях, прилегающих к морскому побережью юга Дальнего Востока России, увеличения уровня естественного гамма-фона выше существующих ранее значений зафиксировано не было, да и общий характер распределения изолиний равных уровней гамма-поля на территории городов Владивостока, Находки, Уссурийска, Спасска-

Дальнего, Дальнегорска в течение последнего десятилетия остается в основном неизменным. В этом распределении отсутствуют присущие радиоактивному следу ориентированные зоны, и не регистрируется уменьшение интенсивности излучения по времени. Не оказывает своего влияния на радиоэкологическую обстановку в г. Владивостоке и деятельность судоремонтного завода «Звезда» в г. Большой Камень, который расположен на противоположном берегу Уссурийского залива. Результаты многолетних наблюдений за радиоэкологической обстановкой на территории судоремонтного завода в г. Большой Камень, в акваториях одноименной бухты и Уссурийского залива показывают, что концентрация искусственных радионуклидов, поступающих в воздушную и морскую среду при ремонте и утилизации АПЛ флота, на расстоянии от них в 1,5–2 км, не превышает фоновых значений. Такое положение достигается высокой степенью обеспечения требований радиационной безопасности при проведении ядерно- и радиационно-опасных работ.

Итак, к стойким очагам радиоактивного загрязнения на юге Приморского края относятся береговой радиоактивный след на полуострове Дунай, загрязнение донных отложений в бухте Чажма и в районах захоронения радиоактивных отходов в северо-западной части Японского моря. Наблюдения в зоне берегового радиоактивного загрязнения на полуострове Дунай показывают, что в настоящее время на 90 % площади радиоактивного следа мощности экспозиционной дозы не превышает допустимых уровней – 0,6 мкГр/ч (60 мкР/ч). Оставшаяся же часть (10 %) практически не посещается населением близлежащего поселка Шкотово-22, так как выставлены знаки радиационной опасности. Случайное пребывание в этом районе не представляет опасности, так как для получения общей дозы 0,5 бэр/год необходимо непрерывное пребывание человека на местности в течение 100–350 ч [6, 7].

Характерным воздействием на окружающую среду, связанным с деятельностью предприятий атомной энергетики и промышленности, является радиационное воздействие, государственное регулирование которого предусматривает нормирование деятельности в сфере использования источников ионизирующего излучения, обязательный контроль за соблюдением установленных норм. Имеющиеся в отрасли радиоэкологические проблемы, как правило, связаны с прошлым периодом работы предприятий по оборонным программам. Эффективное и скоординированное решение накопленных радиоэкологических проблем предусмотрено в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» [8]. Реализация этой программы позволит решить комплекс ресурсоемких экологических проблем, связанных как с прошлой оборонной деятельностью, так и с недостаточными темпами создания инфраструктуры в предшествующие десятилетия для безопасного обращения с радиоактивными отходами.

На Дальнем Востоке России существует и успешно действует единственная в регионе атомная электростанция (точнее, атомная теплоэлектроцентраль) – Билибинская АЭС, расположенная рядом с городом Билибино Чукотского автономного округа. Станция состоит из четырех одинаковых энергоблоков общей электрической мощностью 48 МВт с реакторами ЭГП-6 (водно-графитовый гетерогенный реактор канального типа). Станция вырабатывает как электрическую, так и тепловую энергию, которая поступает на теплоснабжение города Билибино. Билибинская АЭС – единственная атомная электростанция, расположенная в зоне вечной мерзлоты. Решение о строительстве станции было принято в 1965 г. Энергоблоки введены в эксплуатацию в 1974–1976 гг. АЭС производит около 75 % электроэнергии, вырабатываемой в изолированной Чунь-Билибинской энергосистеме (при этом на саму систему приходится около 40 % потребления электроэнергии в Чукотском АО).

Радиационный контроль объектов окружающей среды в районе расположения атомной станции – это единная система организационно-технических решений, обеспечивающих получение и обработку данных, необходимых и достаточных для оценки АЭС как источника радиационного воздействия при нормальной эксплуатации атомных станций, а также данных, необходимых для своевременного принятия мер по защите населения в случае возникновения

аварийных ситуаций. Контроль мощности дозы гамма-излучения (радиационный фон) в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС проводится метрологически аттестованными переносными приборами и автоматизированными системами контроля радиационной обстановки (ACKPO). Основным назначением ACKPO является осуществление непрерывного контроля радиационной обстановки на постах контроля, расположенных на территории санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения АЭС, и информационно-аналитическая поддержка противоаварийных структур, руководства АЭС, органов управления и государственной власти различных уровней в случае аварии на АЭС [9].

Результаты систематических измерений концентрации радиоактивных веществ в атмосферном воздухе, водоемах-охладителях, продуктах питания, а также в почве и растительности в контрольных точках, расположенных на расстоянии до 50 км от Билибинской АЭС, подтверждают отсутствие обнаруживаемого влияния работы атомных станций на состояние объектов внешней среды. Таким образом, в настоящее время загрязнение атмосферы техногенными радионуклидами на территории Дальнего Востока России в основном обусловлено ветровым подъемом и переносом радиоактивной пыли с поверхности почвы, загрязненной в предыдущие годы вследствие упомянутых выше радиационных аварий.

Актуальной для дальневосточных территорий России на сегодняшний день продолжает оставаться проблема изучения последствий радиационной аварии на японской АЭС «Фукусима-1». В марте 2011 г. в результате землетрясения и последовавшего за ним цунами произошла вторая по величине радиоактивного выброса радиационная авария на АЭС за всю историю развития ядерной энергетики (после Чернобыльской катастрофы). Ситуация вокруг «Фукусимы-1» в 2011 г. развивалась по самому неблагоприятному сценарию. Власти и специалисты, работающие над ликвидацией последствий катастрофы, не смогли противостоять распространению радиации вокруг АЭС. Выбросы в атмосферу летучих радионуклидов, в основном йода, цезия и теллура, привели к значительному радиоактивному загрязнению территории ряда японских префектур, расположенных вокруг АЭС «Фукусима-1». В 2011 г. радионуклиды йода и цезия, выброшенные из аварийных реакторов АЭС «Фукусима-1», в следовых концентрациях обнаруживаются в воздухе над США, а затем и в Европе, европейской части России и на территории дальневосточных субъектов Российской Федерации. Неконтролируемое растекание и контролируемый сброс жидких радиоактивных отходов в прибрежную полосу Тихого океана привели к значительному загрязнению океанской воды.

Оценки доз облучения населения Японии в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» основаны на результатах мониторинга радиационной обстановки, включающего измерения мощностей доз гамма-излучения в воздухе, поверхностной активности выпадений радионуклидов, содержания йода-131 и цезия-134, -137 в воде, пищевых продуктах животного и растительного происхождения, информации о принятых мерах защиты населения, о структуре питания и других данных, размещенных в интернете официальными организациями Японии. Методы оценки доз у японцев были основаны на моделях, разработанных для оценки доз, полученных населением Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС.

Для оценки потенциальной опасности катастрофы в Японии, уточнению зон и параметров возможного радиоактивного загрязнения акватории Тихого океана вблизи территории Российской Федерации в 2011 г. Русским географическим обществом, при участии всех заинтересованных министерств и ведомств, ведущих научных учреждений России, было принято решение о проведении комплексной морской экспедиции. Всего специалистами научно-исследовательского института радиационной гигиены выполнено пять экспедиций на Дальний Восток, две из которых – на острове Сахалин и острова Курильской гряды, в результате которых на территории пяти дальневосточных субъектов Российской Федерации обнаружено присутствие в пробах объектов окружающей среды и пищевых продуктов Приморского и Камчатского краев, Магаданской и Сахалинской областей «фукусимских» выпадений, что подтверждается содержанием в исследованных

пробах радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$ , а в Приморском крае – и  $^{131}\text{I}$ . По уровню радиоактивного загрязнения территорий незначительно отличаются в более высокую сторону два региона: Приморский край и Сахалинская область, включая острова Кунашир и Шикотан [10].

Оценка возможных дополнительных доз облучения жителей дальневосточных регионов России за счет аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. показывала максимальную величину индивидуальной годовой эффективной дозы облучения жителя Приморского края, равную 82 мкЗв, Сахалинской области – 25 мкЗв, о. Кунашир – 41 мкЗв. Сейчас, по прошествии почти четырех лет с момента радиационной катастрофы в Японии, можно вполне обосновано говорить о том, что наблюдаемые в районах российского побережья Дальнего Востока уровни загрязнения радионуклидами из состава аварийных выбросов и сбросов на АЭС «Фукусима-1» в настоящее время опасности для российских территорий не представляют.

В наши дни содержание радионуклидов цезия и йода в значительной части проб, отобранных и исследованных в дальневосточных регионах России, находилось на уровне чувствительности методов измерения или ниже, и определить среднее содержание радионуклидов в отобранных пробах невозможно, а значит и не были оценены средние дозы по населенным пунктам и дальневосточному региону в целом.

### **Литература**

1. Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности в медицине: сб. тезисов докладов. СПб.: С.-Петербург. науч.-исслед. ин-т радиац. гигиены им. проф. П.В. Рамзаева, 2007. 92 с.
2. Дозовые нагрузки на гидробионты и население в районах эксплуатации кораблей с ЯЭУ / В.А. Данилян [и др.] // Атомная энергия. 2002. Т. 92. Вып. 2. С. 158–168.
3. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию / Ю.В. Сивинцев [и др.]. М.: ИздАТ, 2005.
4. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л., Гичев Д.В. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края // Атомная энергия. 2001. Т. 91. Вып. 3. С. 223–237.
5. Tkalin A.V., Chaykovskaya E.L. Anthropogenic radionuclides in Peter the Great bay // Journal of Environmental Radioactivity. 2000. Vol. 51. P. 229–238.
6. Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Данилян В.А. Радиоэкологические последствия радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Атомная энергия. 1994. Т. 76. Вып. 2. С. 158–160.
7. Эволюция радиоактивного загрязнения в зоне аварии на атомной подводной лодке в 1985 г. в бухте Чажма Японского моря / В.Н. Сойфер [и др.] // Метеорология и гидрология. 1999. № 1. С. 48–63.
8. О Концепции федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года»: Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 19 апр. 2007 г. № 484-р // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2007. № 18. Ст. 2248.
9. Билибинская атомная станция. Отчет по экологической безопасности за 2010 год. М.: Изд-во АНО «Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли», 2011. 36 с.
10. Заключение российской научной комиссии по радиологической защите по докладу «Радиационная обстановка в Дальневосточных субъектах Российской Федерации после аварии на АЭС «Фукусима 1» // Радиация и риск. 2011. Т. 20. № 4. С. 5–6.



---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

## АНАЛИЗ ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГПС МЧС РОССИИ

**А.В. Максимов.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрена оперативная деятельность пожарной охраны России за 2013 г.: участники пожаротушения, среднестатистические показатели оперативного реагирования, привлекаемая пожарная техника. Проведена сравнительная характеристика полученных данных с предыдущими годами.

*Ключевые слова:* оперативная деятельность, пожарная охрана, пожар, показатель оперативного реагирования

## ANALYSIS OF OPERATIONAL ACTIVITY OF DIVISIONS OF THE STATE FIREFIGHTING SERVICE OF EMERCOM OF RUSSIA

A.V. Maksimov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In this article operational activity of fire protection of Russia for 2013 is in detail considered: participants of fire extinguishing, average indicators of rapid response, the attracted firefighting equipment. The comparative characteristic of the obtained data with previous years is carried out.

*Keywords:* operational activity, fire protection, fire, indicator of rapid response

Обстановка с пожарами в Российской Федерации продолжает оставаться напряженной и оказывать значительное влияние на экономическую и социальную сферы жизни общества. Так, ежегодно в России происходит около 163 тыс. пожаров, ущерб от которых составляет около 16 млрд рублей, при которых гибнут более 11 тыс. человек и около 12 тыс. получают травмы. В связи с этим ГПС МЧС России продолжает совершенствовать свою деятельность по стабилизации обстановки с пожарами. Вносятся изменения в нормативные документы, регламентирующие пожаротушение. Они направлены на совершенствование тактики тушения пожаров и особенно на проведение спасательных работ [1].

Но, прежде чем проводить какие-либо изменения в пожарной охране, необходимо провести анализ ее оперативной деятельности. Под оперативной деятельностью пожарной охраны будем понимать процесс функционирования пожарной охраны, призванной оперативно реагировать на те или иные чрезвычайные ситуации, аварии и тому подобные явления.

В 2013 г. в Российской Федерации при тушении пожаров приняли участие: на 11 649 пожарах (на 6,4 % меньше, чем в 2012 г.) сотрудников (работников) территориальных подразделений федеральной противопожарной службы (ФПС) ГПС МЧС России; на 2 128 пожарах (на 27,9 % меньше, чем в 2012 г.) сотрудников (работников) объектовых подразделений ФПС ГПС МЧС России; на 1 300 пожарах (на 10,5 % меньше, чем в 2012 г.) сотрудников (работников) специальных подразделений ФПС ГПС МЧС России; на 735 пожарах (на 13,9 % больше, чем в 2012 г.) сотрудников (работников) договорных подразделений ФПС ГПС МЧС России (введены Приказом МЧС России от 30 декабря 2011 г. № 803); на 31 408 пожарах (на 5,8 % меньше, чем в 2012 г.) работников территориальных подразделений противопожарной службы (ППС) субъекта РФ; на 143 пожарах (на 20,2 % больше, чем в 2012 г.) работников объектовых подразделений ППС субъекта РФ; на 2 107 пожарах (на 11,4 % меньше, чем в 2012 г.) работников ведомственной пожарной охраны; на 11 544 пожарах (на 3 % больше, чем в 2012 г.) членов добровольной пожарной охраны; на 5 675 пожарах (на 1,1 % меньше, чем в 2012 г.) работников муниципальной и частной пожарной охраны; на 22 077 пожарах (на 5,9 % меньше, чем в 2012 г.) населения и работников различных организаций; на 349 пожарах (на 38,5 % больше, чем в 2012 г.) работников спасательных подразделений (рис. 1).

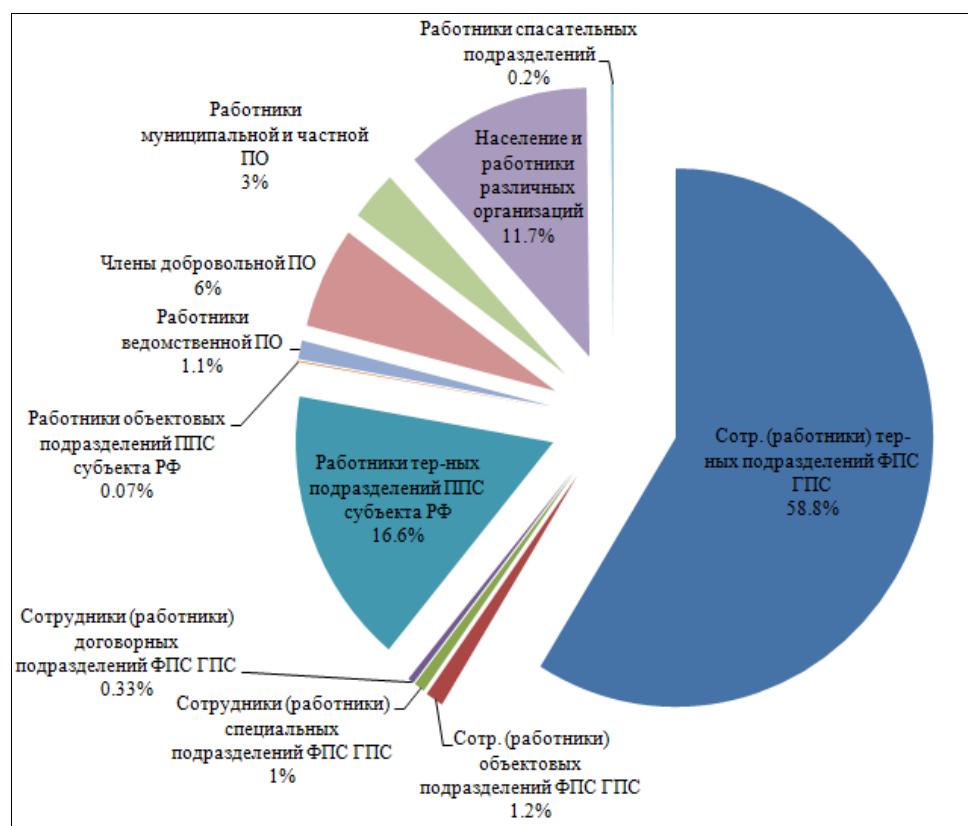


Рис. 1. Распределение пожаров в зависимости от участника их тушения

Анализ основных среднестатистических показателей оперативного реагирования и тушения пожаров за период с 2010 г. по 2013 г. показывает, что за данный период наблюдается тенденция к улучшению показателей по стране (табл. 1). Так можно выделить следующие сокращения временных показателей по сравнению с 2012 г.: среднее время локализации – 12,8 %, среднее время сообщения о пожаре – 12,4 %, среднее время тушения пожара – 12,3 %, среднее время ликвидации открытого горения – 11,3 %, среднее время занятости на пожаре – 6,1 %, среднее время свободного горения и среднее время обслуживания вызова – 5,9 %, среднее время прибытия первого пожарного подразделения – 4,2 %, среднее время подачи первого ствола – 3,3 % и среднее время ликвидации последствий – 2,9 %.

Таблица 1. Основные показатели оперативного реагирования на пожар в Российской Федерации за 2010–2013 гг.

Наименование показателя	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Среднее время сообщения о пожаре, мин				
Все пожары	3,61	3,25	2,84	2,49
Пожары в городах	2,78	2,55	2,28	2,05
Пожары в сельской местности	4,82	4,26	3,6	3,1
Среднее время прибытия первого пожарного подразделения, мин				
Все пожары	9,57	9,08	8,76	8,4
Пожары в городах	6,86	6,66	6,5	6,29
Пожары в сельской местности	13,81	12,87	12,18	11,59
Среднее время подачи первого ствола, мин				
Все пожары	1,44	1,33	1,24	1,2
Пожары в городах	1,5	1,37	1,26	1,21
Пожары в сельской местности	1,2	1,17	1,12	1,09
Среднее время свободного горения, мин				
Все пожары	14,8	13,8	12,96	12,2
Пожары в городах	11,27	10,73	10,15	9,64
Пожары в сельской местности	19,99	18,45	17,02	15,9
Среднее время локализации пожара, мин				
Все пожары	11,53	10,49	9,57	8,35
Пожары в городах	10,07	9,42	8,59	7,37
Пожары в сельской местности	12,97	11,48	10,39	9,08
Среднее время ликвидации открытого горения, мин				
Все пожары	13,94	12,59	11,6	10,29
Пожары в городах	10,14	9,43	8,85	7,8
Пожары в сельской местности	18,23	16,25	14,54	12,83
Среднее время тушения пожара, мин				
Все пожары	25,7	23,32	21,39	18,78
Пожары в городах	20,18	18,94	17,45	15,26
Пожары в сельской местности	31,56	28,03	25,21	22,18
Среднее время ликвидации последствий пожара, мин				
Все пожары	31,28	29,9	29,92	29,38
Пожары в городах	21,57	21,05	20,87	19,96
Пожары в сельской местности	39,53	37,59	37,53	37,09

Наименование показателя	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Среднее время занятости на пожаре, мин				
Все пожары	57,86	54,28	52,33	49,14
Пожары в городах	42,54	40,85	39,25	36,47
Пожары в сельской местности	73,83	68,27	65,47	62,15
Среднее время обслуживания вызова, мин				
Все пожары	67,28	63,26	61,11	57,54
Пожары в городах	49,35	47,43	45,77	42,76
Пожары в сельской местности	87,33	80,96	77,56	73,6

Несомненно, важным фактором является время прибытия первого караула к месту пожара, ведь от этого будет зависеть число погибших и прямой материальный ущерб от пожара. В 2013 г. при прибытии первого караула к месту пожара в течении:

1 мин произошло 1 630 пожаров, при которых погибло 94 человека и причинен прямой материальный ущерб равный 1,8 % от общего;

2 мин произошло 7 511 пожаров, погибло 495 человек, ущерб составил 4 % от общего количества;

3 мин произошло 13 778 пожаров, погибло 938 человек с ущербом 8 % от общего;

4 мин произошло 14 702 пожара, погибло 994 человека, материальный ущерб составил 7,4 % от общего;

5 мин произошло 17 032 пожара, погибло 1132 человека, ущерб составил 10,2 % от общего;

6 мин произошло 14032 пожара, погибло 896 человек, ущерб составил 8,8 % от общего;

7 мин произошло 10 350 пожаров, 653 человека погибло, ущерб от огня составил 5,6 % от общего количества;

8 мин произошло 8 676 пожаров, 636 человек погибло, ущерб составил 4,1 % от общего;

9 мин произошло 7 670 пожаров, 526 человек погибло, ущерб составил 5,9 % от общего;

10 мин произошло 11 411 пожаров, 792 человека погибло, ущерб составил 23,3 % от общего;

11–15 мин произошло 11 924 пожара, 964 человека погибло, ущерб составил 9,2 % от общего;

16–20 мин произошло 11 725 пожаров, 1 080 человек погибло, ущерб составил 8,3 % от общего;

21–30 мин произошло 3 242 пожара, 297 человек погибло, ущерб составил 1,6 % от общего;

более 30 мин произошло 2 052 пожара, 248 человек погибло, ущерб составил 1,7 % от общего.

Исходя из распределения пожаров по времени прибытия первого караула к месту пожара, можно сделать вывод о том, что количество пожаров, погибших и прямой материальный ущерб резко растут с 1 по 5 мин, затем идут на спад. Но с 9 мин опять возрастают вплоть до 15 мин (так к 10 мин прибытия причиняется максимальный прямой материальный ущерб 23,3 % от общего количества), с 16 мин пожар уменьшается и вследствие этого уменьшается количество погибших и полученный ущерб от него.

Интересным представляется нагрузка на пожарные части по времени сообщения о пожаре. Как показывает статистика за пять лет количество пожаров, а вместе с ним число

погибших и материальный ущерб начинают расти с 6.00–7.59 ч, достигая максимума в промежутке с 2.00–3.59 ч и спадом с 4.00–5.59 ч (рис. 2).

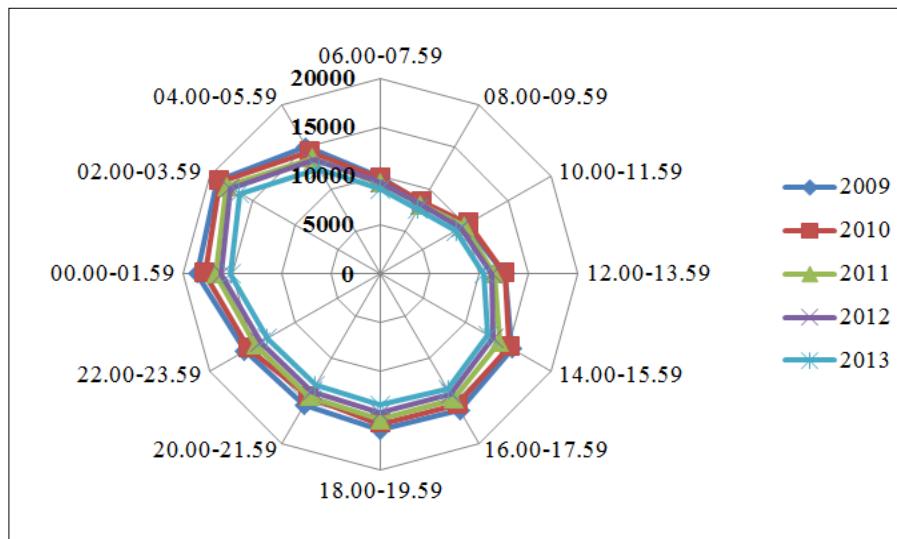


Рис. 2. Распределение пожаров по времени сообщения о пожаре в 2009–2013 гг.

Охарактеризуем время сообщения о пожарах за 2013 г.:

6.00–7.59 возникло 8 695 пожаров (904 человека погибло, материальный ущерб составил 952,6 млн руб.);

08.00–09.59 возникло 7 649 пожаров (654 человека погибло, материальный ущерб составил 506,1 млн руб.);

10.00–11.59 возникло 8 784 пожара (556 человек погибло, материальный ущерб составил 1354,6 млн руб.);

12.00–13.59 возникло 10 479 пожаров (509 человек погибло, материальный ущерб составил 625,2 млн руб.);

14.00–15.59 возникло 12 573 пожаров (542 человека погибло, материальный ущерб составил 1637,4 млн руб.);

16.00–17.59 возникло 13 663 пожара (615 человек погибло, материальный ущерб составил 863,3 млн руб.);

18.00–19.59 возникло 13 419 пожаров (651 человек погибло, материальный ущерб составил 833,6 млн руб.);

20.00–21.59 возникло 13 179 пожаров (853 человека погибло, материальный ущерб составил 853,6 млн руб.);

22.00–23.59 возникло 13 228 пожаров (994 человека погибло, материальный ущерб составил 1414,1 млн руб.);

00.00–01.59 возникло 15 150 пожаров (1 355 человек погибло, материальный ущерб составил 2336,99 млн руб.);

02.00–03.59 возникло 16 451 пожаров (1 384 человека погибло, материальный ущерб составил 2232,86 млн руб.);

04.00–05.59 возникло 12 410 пожаров (1 112 человек погибло, материальный ущерб составил 1295,02 млн руб.).

Ликвидация пожара – стадия (этап) тушения пожара, на которой прекращено горение и устраниены условия для его повторного возникновения [2]. Распределение пожаров по интервалам времени ликвидации в 2013 г. характеризовалось следующими показателями: в интервале от 1 до 5 мин ликвидировано 57 663 пожара, при этом погибло 3 018 человек и материальный ущерб составил 2 098,8 млн руб.; от 6 до 10 мин ликвидировано 28 052 пожара,

где погибло 2 189 человек, ущерб составил 1 577,8 млн руб.; от 11 до 15 мин ликвидировано 15 141 пожар, где погибло 1 378 человек, ущерб составил 1 131,3 млн руб.; от 16 до 30 мин ликвидировано 19 312 пожаров, где погибло 2 088 человек, ущерб составил 1 979,8 млн руб.; от 31 до 60 мин ликвидировано 8 945 пожаров, где погибло 976 человек, ущерб составил 1 429 млн руб.; от 61 до 90 мин ликвидировано 2 719 пожаров, где погибло 366 человек, ущерб составил 818,6 млн руб.; от 91 до 120 мин ликвидировано 1 056 пожаров, где погибло 151 человек, ущерб составил 997,3 млн руб.; более 120 мин ликвидировано 1 546 пожаров, где погибло 246 человек и ущерб составил 3 974,4 млн руб. Согласно этим данным, большая часть материального ущерба и гибель людей происходит в первые 15 мин, затем показатели уменьшаются. Исключение носят пожары повышенных рангов, где на ликвидацию уходит больше 120 мин.

Важным инструментом и ресурсом для борьбы с пожарами является пожарная техника. Поэтому МЧС России разработана программа по модернизации и переоснащению техники современными образцами на 2011–2015 гг., выделив на эти цели около 43 млрд руб. Стоит отметить, например, при тушении пожаров на территории России за 2013 г. было привлечено 165 567 единиц основной пожарной техники, из которых большую часть составили: 138 844 автоцистерны, 9 929 автолестниц, 7 577 штабных автомобилей, 1 240 автомобилей газодымозащитной службы и т.д. (табл. 2).

**Таблица 2. Использование основных видов пожарной техники при тушении пожаров в 2013 г.**

Вид пожарной техники	Количество пожаров, ед.
Автоцистерна	138844
Автолестница	9929
Штабной автомобиль	7577
Автомобиль газодымозащитной службы	1240
Вспомогательная техника	4359
Мотопомпа	968
Автомобиль насосно-рукавный	746
Коленчатый автоподъемник	709
Автонансос	364
Автомобиль связи и освещения	358
Автомобиль дымоудаления	219
Вертолет, самолет, судно, поезд	91
Пожарный автомобиль пенного тушения	46
Насосная станция	44
Автомобиль аэродромный	38
Автомобиль порошкового тушения	17
Автомобиль технической службы	10
Автомобиль комбинированного тушения	5
Автомобиль газоводяного тушения	3

Распределение пожаров по количеству единиц пожарной техники, одновременно использовавшейся при тушении в 2013 г. было таким:

- 1 единица пожарной техники на 37 372 пожарах (24,35 %);
- 2 единицы пожарной техники на 56 739 пожарах (36,97 %);
- 3 единицы пожарной техники на 23 301 пожарах (15,18 %);
- 4 единицы пожарной техники на 10 513 пожарах (6,85 %);
- 5 единиц пожарной техники на 4 749 пожарах (3,09 %);
- 6 единиц пожарной техники на 2 430 пожарах (1,58 %);
- 7 единиц пожарной техники на 1 398 пожарах (0,91 %);

8 единиц пожарной техники на 896 пожарах (0,58 %);  
9 единиц пожарной техники на 572 пожарах (0,37 %);  
10 единиц пожарной техники на 410 пожарах (0,27 %);  
11 единиц пожарной техники на 276 пожарах (0,18 %);  
12 единиц пожарной техники на 200 пожарах (0,13 %);  
13 единиц пожарной техники на 102 пожарах (0,07 %);  
14 единиц пожарной техники на 89 пожарах (0,06 %);  
15 единиц пожарной техники на 38 пожарах (0,02 %);  
более 15 единиц пожарной техники на 159 пожарах (0,1 %);  
не использовалось на 14 222 пожарах (9,27 %).

Подводя итог отметим, что ситуация с пожарами остается достаточно напряженной и следует ожидать ее дальнейшего осложнения ввиду роста городов, увеличения плотности населения, роста этажности зданий и загруженности автомобильных магистралей, а также ввиду объективных и субъективных факторов, связанных с реформами в ГПС.

Одним из действенных путей компенсирования создавшегося положения является повышение эффективности управления подразделениями ГПС и аварийно-спасательными формированиями МЧС России. Это, в свою очередь, требует тщательного сбора, обработки и анализа статистических данных о функционировании основных подразделений ГПС, моделирования их деятельности и формирования предложений по повышению ее эффективности [3].

### **Литература**

1. О пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ (в ред. от 12 марта 2014 г.) // Рос. газ. 1995. 5 янв. № 3.
2. Верзилин М.М., Повзик С.Я. Пожарная тактика. Изд. перераб. и доп. М.: ЗАО «Спецтехника НПО», 2007. 423 с.
3. Максимов А.В., Матвеев А.В. Статистическая оценка потока вызовов пожарных подразделений Псковской области // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2014. Т. 1. № 7. С. 118–121.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**Е.М. Богданова;**

**А.Н. Иванов, кандидат технических наук, доцент;**

**Н.А. Мороз, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены методы оценки и анализа информации о состоянии резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, а также проблемы обеспечения их техногенной безопасности. Показано, что одним из путей решения этих проблем является введение коэффициента техногенной безопасности.

**Ключевые слова:** резервуар, резервуарный парк, эксперт, стандарты безопасности, техногенная безопасность

# ANALYTICAL REVIEW OF METHODS FOR THE ASSESSMENT AND ANALYSIS OF INFORMATION ABOUT THE CONDITION OF TANKS FOR STORAGE OF OIL AND OIL PRODUCTS

E.M. Bogdanova; A.N. Ivanov; N.A. Moroz.

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

Methods of an assessment and the analysis of information on a condition of tanks for storage of oil and oil products, and also problems of ensuring their technogenic safety are considered. It is shown that one of solutions of these problems is introduction of the coefficient of technogenic safety.

*Keywords:* tank, reservoir park, expert, standards of safety, technogenic safety

Основным звеном системы транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов в России и за рубежом являются резервуарные парки. В нашей стране на сегодняшний день насчитывается более 40 000 резервуаров, имеющих разнообразные характеристики, типы, конструкции, вместимость и сроки эксплуатации (рис. 1).



**Рис. 1. Резервуар вместимостью 100 000 м<sup>3</sup> Каспийского трубопроводного консорциума «КТК-Р», г. Новороссийск**

Данные сооружения относятся к категории опасных производственных объектов. Соответственно оценка техногенной (пожарной и промышленной) безопасности резервуаров на этапе их проектирования, строительства и эксплуатации является одной из актуальных задач.

Тем более что на данном этапе развития нефтегазового комплекса нашей страны характерно не только старение существующего резервуарного парка, но и его постепенное обновление, что вызвано дальнейшим развитием топливно-энергетического комплекса, внедрением новых технологий и материалов, обеспечивающих возможность проектирования и возведения крупных резервуаров вместимостью до 120 000 м<sup>3</sup> [1].

Одна из самых крупных в России компаний по транспортировке нефти ОАО «АК «Транснефть» на сегодняшний день имеет более 22 млн кубометров резервуарных емкостей. Согласно долгосрочной программе ее развития до 2020 г. планируется

строительство еще 125 резервуарных парков общим объемом 1 920 тыс. кубических метров. В то же время в кампании имеется достаточно большое количество резервуаров, срок службы которых составляет больше 20 лет.

Поэтому, в целях обеспечения промышленной и пожарной безопасности резервуарных парков, необходим постоянный контроль их технического состояния, сбор и анализ информации для прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций. АО «Транснефть-Диаскан», являясь одним из структурных подразделений компании ОАО «АК «Транснефть», ежегодно диагностирует приблизительно 400 резервуаров. Все это снижает риск появления чрезвычайных ситуаций, вызванных техническим состоянием резервуаров.

Но, наряду с успехами в строительстве и эксплуатации резервуаров, обозначился и ряд проблем, в частности, в связи с внедрением индивидуального проектирования и отменой применяемых в 70–80 гг. прошлого века типовых (обязательных) проектов резервуаров. Это привело к тому, что качество новых объектов стало во многом зависеть от квалификации проектировщиков и объективности проводимых экспертиз промышленной и пожарной безопасности проектов резервуаров. Таким образом, проблема безопасности резервуаров на этапе проектирования зависит, в том числе и от опыта экспертов. Это связано с тем, что проектирование, включая проведение экспертизы проекта, является достаточно сложным процессом и требует высокой квалификации специалистов.

Анализ стандартов по безопасности показывает, что их требования могут быть обязательными, рекомендуемыми и допускающими отклонения. Формой выражения требований являются текстовые описания количественного или качественного характера.

Качественные требования описываются словесно, например, «...при наличии на резервуаре пожарной системы орошения конструкция колец жесткости должна обеспечивать орошение стенки ниже уровня кольца» (ПБ 03-605-03, п. 3.6.8). К ним также обычно относят требования к материалам (указания марок сталей, болтов, электродов и т.д.), к монтажу и испытаниям («...Центральный щит крыши, закрепленный на монтажной стойке, должен находиться в горизонтальной плоскости»).

Количественные требования, задаваемые в численном выражении, тоже не всегда могут быть экспертом оценены однозначно. Например, «...Для деталей толщиной 4–5 мм катет углового сварного шва должен быть равен 4 мм. Для деталей большей толщины катет углового шва определяется расчетом или конструктивно, но должен быть не менее 5 мм» (ПБ 03-605-03, п. 3.1.5.5).

Перевод качественных требований в числовое выражение связан с большими трудностями и практически не возможен ввиду недостатка современных знаний. В этих условиях необходима интеллектуальная поддержка лицу (эксперту), принимающему решение о соответствии резервуара нормам техногенной безопасности, которая должна быть выражена в форме официальной методики оценки техногенной безопасности резервуаров для нефти и нефтепродуктов.

Детальный анализ правовых основ оценки техногенной безопасности резервуаров дан в работе А.А. Олейника [2], который констатировал, что «...отсутствует нормативно-технический документ, специально предназначенный для оценки уровня техногенной безопасности резервуаров.

Распространение на резервуары отдельных положений рассмотренных документов не всегда корректно. Поэтому требуется разработка юридически самостоятельного документа по оценке техногенной безопасности резервуаров, учитывающего специфику их жизненного цикла...».

С тех пор (1998 г.) положение в этом вопросе практически не изменилось.

Таким образом, в настоящее время одной из актуальных задач является разработка и создание современной и эффективной методики, позволяющей объективно оценить техногенную безопасность резервуаров и резервуарных парков на любом этапе их жизненного цикла.

Следует сразу отметить, что в основу отечественных нормативных документов оценки техногенной безопасности положен зарубежный опыт. Таким образом, естественно отпадает традиционно возникающий вопрос о состоянии зарубежного опыта в этом вопросе.

В частности, в предисловии к ГОСТ Р 51901–2002 [3] прямо указано, что «...Настоящий стандарт гармонизирован с международным стандартом МЭК 60300-3-9:1995 «Dependability Management – Part 3: Application guide – section 9: Risk analysis of technological systems» – «Управление надежностью. Часть 3. Руководство по применению. Раздел 9. Анализ риска технологических систем».

В ГОСТ Р 51901–2002 [3] отражен современный практический опыт, накопленный в области выбора и применения методов анализа риска. Он носит общий характер, применим для многих отраслей и типов технических систем, допускает существование стандартов по методологии оценки и анализа риска иного уровня (для конкретных областей применения), если требования к ним не хуже его требований. Даны описания известных зарубежных методов HAZOP (Исследование опасности и связанных с ней проблем), FMEA (Анализ видов и последствий отказов), FTA (Анализ «дерева неисправностей»), ETA (Анализ «дерева событий»), PHA (Предварительный анализ опасности) и HRA (Оценка влияния на надежность человеческого фактора) с рекомендациями по их применению.

Метод HAZOP является формой анализа видов и последствий отказов (FMEA), представляет собой процедуру идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе их функционирования. Наиболее распространенная форма исследования HAZOP осуществляется на стадии рабочего проекта и носит название исследования HAZOP II.

Метод FMEA – преимущественно качественный, но его можно представить и в количественной форме, основанный на вопросе «что случится, если ... ?», таким образом каждый основной компонент (или часть) системы достигает аварийного состояния и как это влияет на аварийное состояние системы.

Метод FTA – совокупность качественных или количественных приемов, при помощи которых выявляются (методом дедукции), выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме условия и факторы, которые способствуют нежелательному событию (называемому вершиной событий). Неисправностями или авариями, идентифицируемыми в «дереве», являются события, связанные с повреждениями механической конструкции компонента, ошибками персонала и т.д., которые влекут за собой нежелательное событие.

Метод ETA – совокупность приемов количественных или качественных, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события и их вероятностей. Метод широко используется для снижения аварийности и позволяет выявлять последовательности событий, которые, в свою очередь, приводят к появлению определенных последствий инициирующего события. Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность. Следует отметить, что вероятности на «дереве событий» являются условными вероятностями.

Метод PHA – индуктивный метод анализа, задачей которого является идентификация опасностей, опасных ситуаций и событий, которые могут причинить вред данной деятельности, объекту или системе. Чаще всего его принято проводить на ранней стадии разработки проекта, когда мало информации по деталям конструкции и рабочим процедурам, и зачастую он может быть предшественником последующих исследований. Кроме того, он полезен, когда анализируются существующие системы или устанавливаются приоритеты опасностей, где обстоятельства препятствуют использованию более обширной совокупности технических приемов.

Метод HRA дает оценку влияния человеческого фактора (операторов и обслуживающего персонала) на работу системы и может быть использован для оценки воздействия ошибок персонала на безопасность и производительность.

ГОСТ Р 51901–2002 не определяет тип метода анализа риска, который необходим для конкретной ситуации, но выдвигает к нему требования в части научной обоснованности, соответствия сложности и природе исследуемой системы; получения результатов в форме, обеспечивающей понимание природы риска и способов его контроля (возможности прослеживания, повторяемости и контроля результатов). В случае сомнений в уместности и пригодности метода необходимо провести сравнение его результатов с результатами альтернативных методов. При этом результаты вычислений должны быть сопоставимыми.

Кроме перечисленных выше, применяются также методы анализа «по списку» аварийных ситуаций и относительного ранжирования опасностей.

Метод анализа «по списку» аварийных ситуаций сводится к проверке наличия принятых в проекте решений по предотвращению характерных для данного производства аварий, представленных в виде списка (или требований правил, других нормативных документов). Этот метод применяется в нашей стране наиболее часто. Он основан на накопленном опыте эксплуатации подобных производств и сооружений. Однако имеет низкую эффективность, если создается новая технология, не имеющая аналогов.

Метод относительного ранжирования опасностей заключается в делении изучаемого объекта на независимые участки и установлении их относительной иерархии по степени опасности работ. В процессе анализа выявляются источники опасности (перечень опасных веществ и их количество), особенности технологии, компоновки оборудования, позволяющие выяснить способы реализации опасности, а также масштабы возможных последствий аварий. Недостатком метода является относительный характер и субъективизм оценки опасностей отдельных участков. Кроме того, он также опирается на прошлый опыт и не исключает пропуск специфических видов опасностей.

Наряду с рассмотренными методами, на предприятиях нефтегазовой отрасли промышленности применяются ведомственные методы оценки техногенной безопасности.

Подробные методические указания по проведению анализа риска при проектировании и эксплуатации опасных производственных объектов газотранспортных предприятий содержатся в нормативном документе ОАО «Газпром», введенном в действие в 2003 г. [4]. Он использует ранее рассмотренные процедуры РНА, HAZOP, FMEA, WHAT IF и другие подобные методы, применительно к конкретным объектам и техническим устройствам своей отрасли промышленности (насосы, компрессоры и т.д.), но в этом перечне отсутствуют интересующие нас резервуары.

Руководство ОАО «НК «Роснефть» своим приказом от 28 января 2004 г. № 9 ввело в действие документ «Правила технической эксплуатации резервуаров», в котором установлены сроки и подробно описан порядок контроля их технического состояния.

Естественно, что это касается объектов, уже находящихся в эксплуатации. Так как безопасность любого объекта закладывается на стадии проектирования, то в работе Н.А. Мороз [5] предлагается ввести интегрированный показатель оценки безопасности резервуаров и взять его за основу экспертной оценки проектов. Таким показателем может быть коэффициент техногенной безопасности (КТБ), полученный на основе системного анализа предметной области с использованием методов аналогии, анализа размерностей, надежности технических устройств и процессов:

$$KTB = \frac{\gamma_j \sum_{i=1}^n (N_{OT_i} - x) + \gamma_k \sum_{i=1}^n (N_{PT_i} - y) + \gamma_m \sum_{i=1}^n (N_{DO_i} - z)}{\gamma_j \sum_{i=1}^n N_{OT_i} + \gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i} + \gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}}, \quad (1)$$

где  $N_{OT_i}$ ,  $N_{PT_i}$ ,  $N_{DO_i}$  – соответственно количество обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений, содержащихся в  $i$ -м нормативном документе;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – количество невыполненных требований по результатам экспертизы проекта;  $n$  – количество рассматриваемых нормативных документов;  $\gamma_j$ ,  $\gamma_k$ ,  $\gamma_m$  – веса значимости обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений к техническому состоянию резервуара;  $\gamma_j \sum_{i=1}^n N_{OT_i}$ ,  $\gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i}$ ,  $\gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}$  – сумма баллов оценки обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений, содержащихся в нормативных документах.

Зависимость (1) справедлива только при экспертизе проекта, поэтому для оценки техногенной безопасности в ходе эксплуатации резервуаров предложено КТБ рассчитывать по формуле:

$$KTB(t) = \frac{\gamma_i \sum_{i=1}^n (N_{OT_i} - x - x_3) + \gamma_k \sum_{i=1}^n (N_{PT_i} - y) + \gamma_m \sum_{i=1}^n (N_{DO_i} - z + x_3)}{\gamma_i \sum_{i=1}^n N_{OT_i} + \gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i} + \gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}}. \quad (2)$$

Символом  $X_3$  в формуле (2) обозначено количество возникших в ходе эксплуатации нарушений обязательных требований (ОТ), которые перешли в разряд допускаемых отклонений (ДО) при сохранении прежнего количества рекомендуемых требований (РТ).

Однако эта формула не учитывает поведение металла резервуара в процессе эксплуатации, поэтому с учетом ранее известной зависимости, отражающей старение стали (через изменение ударной вязкости), уравнение (2) примет окончательный вид:

$$KTB(t) = \frac{\gamma_i \sum_{i=1}^n (N_{OT_i} - x - x_3) + \gamma_k \sum_{i=1}^n (N_{PT_i} - y) + \gamma_m \sum_{i=1}^n (N_{DO_i} - z + x_3)}{\gamma_i \sum_{i=1}^n N_{OT_i} + \gamma_k \sum_{i=1}^n N_{PT_i} + \gamma_m \sum_{i=1}^n N_{DO_i}} \cdot \exp(-0,0084t^2).$$

Эта зависимость способна отразить все изменения в техногенном состоянии резервуара за жизненный цикл, из чего следует универсальность и достоинство этого показателя в смысле адаптации ко всем фазам существования резервуара.

Коэффициент техногенной безопасности может служить объективным показателем техногенного состояния резервуара, если будет наперед задано его минимально допустимое значение, которое следует принять на уровне величины не менее 0,95. Оно, учитывая вероятностный характер коэффициента, будет отражать минимальную достоверность нахождения резервуара в техногенном состоянии, отвечающем потребностям практики.

### Литература

- ГОСТ Р 52910–2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 15.10.2014).
- Олейник А.А. Метод оценки уровня конструктивно-технологической взрыво-пожаробезопасности резервуаров для нефтепродуктов: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПб ИПБ МВД РФ, 1998.
- ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем // SnipHelp.ru. URL: <http://www.sniphelp.ru> (дата обращения: 15.10.2014).

4. СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» // Файловый архив – магистраль. URL: <http://www.npo-diar.ru> (дата обращения: 15.10.2014).

5. Мороз Н.А. Методика обработки и анализа информации при экспертной оценке проектов резервуаров для нефти и нефтепродуктов: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2009.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО И ВЕБ-ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СУДЕБНОЙ НОРМАТИВНОЙ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ**

**А.А. Воронцова, кандидат физико-математических наук;**

**Т.А. Кузьмина.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Описывается использование современных информационных технологий при проведении судебных нормативных пожарно-технических экспертиз и в процессе повышения квалификации сотрудников Государственных судебно-экспертных учреждений. Предлагается обзор ряда расчетных объектно-ориентированных программ и справочной веб-системы, применяемых в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России.

**Ключевые слова:** судебно-экспертное учреждение, судебная нормативная пожарно-техническая экспертиза, повышение квалификации, объектно-ориентированное программирование, веб-программирование, инженерные расчеты

## **APPLICATION OF OBJECT-ORIENTED AND WEB-PROGRAMMING IN THE FORENSIC NORMATIVE FIRE-TECHNICAL EXPERTISE**

**A.A. Vorontsova; T.A. Kuzmina.**

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

The article describes the use of modern information technologies in forensic normative fire-technical expertise and training for employees of the state forensic-expert establishments. Provides an overview of the object-oriented programs and reference web-system used in Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

**Keywords:** forensic-expert establishment, forensic normative fire-technical expertise, professional development, object-oriented programming, web-programming, engineering calculations

В течение последних десяти лет в Российской Федерации произошли существенные изменения в сфере, касающейся правового и технического регулирования пожарной безопасности. Заметно возросло количество пожарно-технических экспертиз, назначаемых органами надзорной деятельности и следственными органами в судебно-экспертные учреждения федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России, что, в свою очередь, вызвало насущную необходимость рассмотрения нормативной пожарно-технической экспертизы с точки зрения самостоятельного вида судебной пожарно-технической экспертизы. Таким образом, в системе Государственных судебно-экспертных

учреждений ФПС МЧС России была введена новая экспертная специализация «Анализ нарушений нормативных требований в области пожарной безопасности, прогнозирование и экспертное исследование их последствий».

Судебная нормативная пожарно-техническая экспертиза заключается в исследовании нарушений нормативных противопожарных требований на основе специальных знаний в области пожарной безопасности, а также установлении причинной связи выявленных нарушений с возникновением, развитием и последствиями как уже произошедшего, так и потенциально возможного пожара.

Опыт проведения судебных нормативных пожарно-технических экспертиз показал, что экспертам зачастую приходится проводить исследование по вопросам, для ответа на которые недостаточно исключительно логических выкладок и теоретических познаний в области пожарной безопасности. Экспертные вопросы в массе своей требуют производства разнообразных расчетов с применением современных компьютерных технологий [1].

В настоящей статье в общем виде рассмотрены виды основных расчетов, которые могут быть применены при производстве судебных нормативных пожарно-технических экспертиз.

При производстве судебных нормативных пожарно-технических экспертиз может возникнуть необходимость проведения инженерных расчетов, а именно:

- физико-химические расчеты;
- теплофизические расчеты;
- гидроаэродинамические расчеты;
- математическое моделирование процессов, происходящих при пожаре.

К основным видам физико-химических расчетов, которые могут применяться при проведении судебных нормативных пожарно-технических экспертиз, можно отнести:

- расчет концентрации газа при утечке в помещении;
- расчет максимального давления взрыва газо- и паровоздушных смесей;
- расчет концентрации газа в помещении при испарении;
- расчет площади растекания нефтепродуктов;
- расчет максимальной скорости нарастания давления взрыва;
- расчет температуры вспышки жидкостей;
- расчет температуры воспламенения жидкостей;
- расчет температурных пределов распространения пламени.

Вышеизложенные расчеты в основном используются для определения категории помещения и здания по взрывопожарной и пожарной опасности или для определения величины пожарного риска в производственных зданиях. Также стоит отметить использование при оценке пожарной опасности веществ и материалов в тех случаях, когда натурные испытания провести невозможно (к примеру, после пожара). Регламентируют порядок проведения подобных расчетов основные документы [2, 3].

Теплофизические расчеты могут применяться для решения следующих задач в ходе проведения судебных нормативных пожарно-технических экспертиз:

- построение поля температур при прогреве ограждающих конструкций;
- определение возможности воспламенения горючих материалов от различных источников зажигания;
- измерение динамики пожара в заданных условиях.

К примеру, при расчете противопожарных разрывов на основе анализа причин распространения пожара между зданиями проводится сравнение падающей плотности теплового потока для облучаемого объекта с максимально допустимой плотностью.

Для теплофизических расчетов, как правило, используются методики и расчетные формулы, приведенные в учебнике [4], объектно-ориентированные программы ANSYS для математического моделирования, а также программный комплекс «Экспотех», разработанный Исследовательским центром экспертизы пожаров (ИЦЭП) ФГБУ ВНИИПО МЧС России [5].

При производстве судебных нормативных пожарно-технических экспертиз зачастую необходимо проанализировать динамику изменения опасных факторов пожара в помещении и здании с последующим расчетом их критических значений. Наиболее распространенным расчетом является построение полей опасных факторов пожара, в ходе которого определяется наименьшее время наступления критического значения одного из опасных факторов пожара для заданной расчетной точки в помещении и здании. Как правило, для того, чтобы определить время наступления критических значений параметров опасных факторов пожара требуется проведение математического моделирования параметров пожаров. В качестве примера на рис. 1 показана 3D модель объекта, на рис. 2 – распределение поля видимости на 259 с в расчетной точке 3.

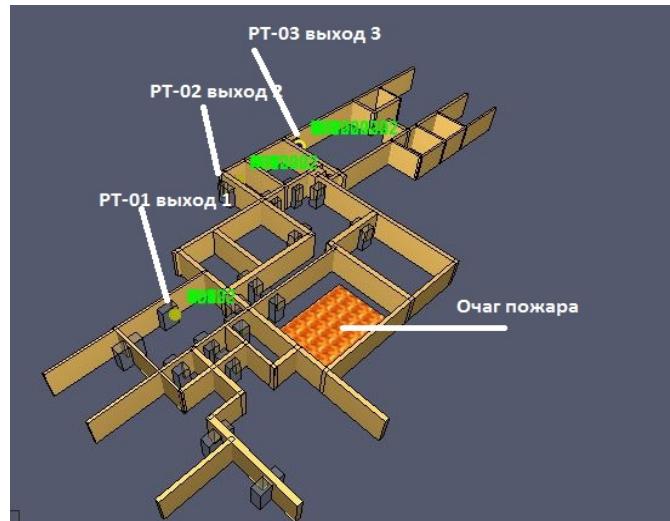


Рис. 1. 3D модель 1 этажа объекта

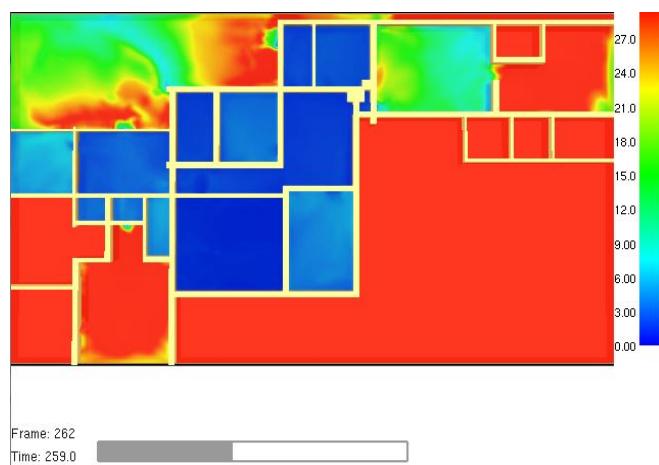


Рис. 2. Распределение поля видимости в горизонтальном сечении этажа здания на высоте 1,7 м от уровня пола через 259 с от момента возникновения пожара для рассматриваемой аварийной ситуации в точке PT\_03

Далее определяется расчетное время эвакуации людей из здания и проводится сравнительный анализ полученных времен с учетом наличия на объекте системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Моделирование пожара в помещениях основывается на представлении пожара с точки зрения физической передачи механической тепловой энергии, а также массы при определенных условиях развития. Условия развития пожара обусловлены расположением и видом сгораемых объектов, а также конструктивно-планировочными характеристиками помещения.

Математическое моделирование пожаров в зависимости от того, каким образом описываются распределение параметров пожара в пространстве, бывает нескольких видов [6]. Математические модели, при использовании которых описывается изменение среднеобъемных параметров состояния, называются интегральными моделями. Основным недостатком применения моделей, учитывающих изменение среднеобъемных характеристик во времени, является то, что при их использовании не учитывается распределение указанных выше параметров в пространстве.

Интегральный метод может применяться для решения следующих задач в ходе проведения судебных нормативных пожарно-технических экспертиз:

- прогнозирование динамики распространения опасных факторов пожара в здании, которое содержит развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

- прогнозирование динамики распространения опасных факторов пожара при проведении имитационного моделирования в случаях, когда учет случайного характера процессов возникновения и развития пожара объективно важнее, чем точное и детальное прогнозирование его характеристик;

- прогнозирование развития пожара в помещениях, в которых характерный размер очага пожара примерно соизмерим с характерным размером помещения;

- предварительные расчеты для выявления наиболее опасного сценария пожара.

Элементарным способом учета распределения параметров пожара в пространстве в рамках использования усреднения параметров по объему можно назвать зонное моделирование. В помещении выделяется несколько зон. Для каждой зоны составляется своя интегральная модель пожара. В пределах зон рассматриваемые характеристики пожара допустимо принимать одинаковыми с заданной степенью точности. Согласно зонным моделям, в помещении формируются две зоны: задымленная зона (верхний слой продуктов горения) и свободная зона (нижний слой невозмущенного воздуха). Состояние газовой среды в зональных моделях оценивается через осредненные термодинамические параметры, причем не одной, а нескольких зон, вместе с тем межзонные границы, как правило, принято считать подвижными. К примеру, зонная модель CFAST [7], которая разработана в лаборатории исследования пожаров Американского национального центра стандартов (NIST), позволяет определить параметры развития пожара в системе закрытых помещений и произвести расчет распределения концентраций дыма и газов при пожаре и расчет температуры в здании для определенных условий пожара.

Зонный метод может применяться для решения следующих задач в ходе проведения судебных нормативных пожарно-технических экспертиз:

- прогнозирование динамики распространения опасных факторов пожара в помещениях и системах помещений простой геометрической конфигурации, у которых линейные размеры соизмеримы между собой;

- расчет времен задымления рабочих зон, которые расположены на разных уровнях в пределах одного помещения.

Для определения времени наступления критических значений опасных факторов пожара зонным методом может использоваться программный комплекс «Экспотех», разработанный ИЦЭП ФГБУ ВНИИПО МЧС России [5].

Стоит отметить, что наибольший интерес с точки зрения расчета опасных факторов пожара представляет собой дифференциальное моделирование, которое описывает развитие пожара, используя фундаментальные законы сохранения количества движения, энергии и массы, записанные для элементарных объемов, на которые разбивается рассматриваемая область пространства. Дифференциальные модели также носят название полевых моделей или CFD-моделей (англ. Computational Fluid Dynamics). Основу дифференциального метода моделирования пожаров составляют математические модели, которые учитывают процессы конвективного и радиационного теплопереноса, горения в газовой фазе и прочие. Подобного

рода модели разработаны на основе системы полных нестационарных уравнений Навье-Стокса, уравнений сохранения энергии и диффузии для реагирующих компонентов [8]. Аналитические решения систем подобных уравнений известны лишь для крайне ограниченных вариантов. Для численного решения систем дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных возможно использовать метод конечных разностей или метод конечных элементов. С помощью дифференциального моделирования рассчитываются поля температур, концентрация паров горючих веществ, кислорода и продуктов горения в исследуемой области при расчете как гипотетически возможных пожаров, так и для пожаров уже произошедших. Основными трудностями, возникающими с точки зрения практического применения имеющихся на сегодняшний день полевых моделей, можно назвать стоимость ряда лицензионных программ, высокие требования к программному обеспечению и к квалификации специалиста как пользователя, а также существенный объем исходных данных, необходимых для расчетов.

Полевой метод возможно использовать, анализируя следующие объекты:

- помещения сложной геометрической конфигурации, а также помещения с большим количеством внутренних преград;
- помещения, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных;
- в других случаях, когда информативность зонных и интегральных моделей недостаточна или есть основания предполагать, что картина развития пожара может противоречить допущениям, которые лежат в основе данных моделей.

Вышеозначенный метод может использоваться при расчете таких явлений, как:

- формирование прогретого слоя в начальной стадии развития пожара при круговом и одностороннем распространении огня;
- переход начальной стадии пожара в развитую стадию;
- распространение опасных факторов при пожарах в смежные помещения или на пути эвакуации.

Для расчета параметров пожара полевым методом, как правило, используются прикладные программы, которые считывают входные данные из текстового файла, численно решают систему дифференциальных уравнений, описывают процессы, происходящие при пожаре, и записывают определенные пользователем выходные данные в файлы.

При производстве дел, связанных с нарушениями требований пожарной безопасности, зачастую возникает вопрос, выполняются ли на объекте условия соответствия защиты требованиям пожарной безопасности. При ответе на подобного рода вопросы эксперты руководствуются требованиями ст. 6 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [9]. Один из основных параметров, необходимый для расчета при ответе на вышеозначенный вопрос – это величина пожарного риска. В дальнейшем проводится сравнение данной величины пожарного риска с установленными нормативными значениями [9]. В настоящее время в Российской Федерации разработаны и утверждены две действующие методики для определения величины пожарного риска: «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» для общественных зданий [10], «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» для производственных зданий [11].

Деятельность судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы МЧС России направлена как на проведение судебных пожарно-технических экспертиз, так и на повышение квалификации и дополнительного обучения сотрудников данных учреждений [12]. Для оптимизации результативности вышеозначенной деятельности разработана справочная веб-система информационного сопровождения деятельности специалистов судебно-экспертных учреждений, содержащая систематизированную и своевременно актуализированную информацию, которая используется специалистами

судебно-экспертных учреждений для анализа нарушений нормативных требований в области пожарной безопасности, прогнозирования и экспертного исследования их последствий в ходе проведения судебных пожарно-технических экспертиз или в процессе дополнительного профессионального обучения.

Разработанная справочная веб-система базируется на программных средствах, в достаточной степени обеспечивающих оперативную актуализацию информации, что обуславливает ее эффективное применение в деятельности судебно-экспертных учреждений. Актуальность информации в данном случае имеет принципиальное значение, поскольку специалисты судебно-экспертных учреждений должны использовать в своей деятельности действующую нормативную базу, а также сведения в области пожарной безопасности и экспертизы пожаров, для того, чтобы, к примеру, сравнивать нормативные и расчетные значения различных характеристик или брать исходные данные для различных расчетов [11].

При разработке справочной веб-системы, позволяющей использовать специалистам судебно-экспертных учреждений систематизированные и своевременно актуализированные справочные данные, методические рекомендации, судебно-правовую информацию в области экспертизы пожаров и другую специальную информацию, было учтено то, что объемы размещаемой информации со временем будут увеличиваться, порядок доступа пользователей к размещаемой информации со временем может изменяться, ряд разделов закрывается от индексации поисковыми системами русскоязычного сегмента информационно-телекоммуникационной сети Интернет, материалы разделов маркируются ключевыми словами.

Вышеперечисленные факторы обусловили определенные требования к электронной справочной системе, связанные с возможностью изменения структурной принадлежности и названия разделов, регистрации пользователей с различным порядком доступа к информации и внутреннему функционалу, представления результатов поиска информации как по открытым для индексации, так и по закрытым от индексации разделам. Данный подход позволил использовать рубрикацию и таксономию в зависимости от объемов и смысловых составляющих вносимой информации, корректировать функциональную доступность пользователей, осуществлять релевантный полнотекстовый поиск.

Выбор приемлемых технологий обработки данных и их прикладного использования производился с учетом соответствия основным требованиям по открытому исходному коду, мульти-платформенности системы, работе с различными видами баз данных, веб-управлению содержимым, персонализацией, доступом, таксономией. Анализ существующих технологий обработки данных показал, что наиболее полно отвечающей предъявляемым требованиям является технология, использующая в качестве хранилища данных реляционную базу данных на скриптовом языке программирования PHP (англ. Personal Home Page Tools). Таким образом, вышеозначенная технология была принята в качестве основы для электронной справочной системы [13].

Следует отметить, что в полном объеме справочная веб-система отображается только для сотрудников судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы МЧС России, которые зарегистрировались, а затем авторизовались в системе. В настоящее время (данные за январь 2015 г.) справочная веб-система размещена на веб-сайте <http://info.fire-expert.spb.ru> в русскоязычном сегменте информационно-телекоммуникационной сети Интернет и проходит бета-тестирование (англ. beta testing). За основу электронной справочной системы взят программный автоматизированный информационный комплекс «Экспотех», разработанный ИЦЭП ФГБУ ВНИИПО МЧС России [5], включающий в себя информационные блоки по справочным и расчетным методам.

Применение современных информационных технологий при производстве судебных нормативных пожарно-технических экспертиз позволяет повысить научный уровень и доказательное значение результатов экспертных исследований.

## **Литература**

1. Чешко И.Д., Воронцова А.А., Принцева М.Ю. Компьютерная база спектров флуоресценции нефтепродуктов и ее использование в судебной пожарно-технической экспертизе // Проблемы управления рисками в техносфере. № 1 (29). 2014. С. 59–67.
  2. ГОСТ 12.1.004–91 Пожарная безопасность. Общие требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.11.2014).
  3. ГОСТ Р 12.3.047–98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 09.11.2014).
  4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учеб. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1975. 488 с.
  5. Автоматизированный комплекс для пожарно-технических экспертов «Экспотех» / Программное средство. СПб.: С.-Петербург. филиал Федер. гос. учр. ВНИИПО МЧС России, 2010.
  6. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко [и др.]; под ред. Ю.А. Кошмарова. М.: Стройиздат, 1988. 448 с.
  7. Overview of the CFAST fire model. URL: <http://www.bfrl.nist.gov/864/hazard/cfast.html> (дата обращения: 17.11.2014).
  8. Рыжков А.М. Моделирование пожаров в помещениях с учетом горения в условиях естественной конвекции // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27. № 3. С. 40–47.
  9. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
  10. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приложение к приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
  11. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
  12. Квалификационные требования к сотрудникам федеральной противопожарной службы МЧС России по специальности «Судебная пожарно-техническая экспертиза» от 19 сент. 2011 г. // Академия государственной противопожарной службы МЧС России. URL: <http://www.academygps.ru> (дата обращения: 11.10.2014).
  13. Суэлинг С., Конверс Т., Парк Дж. PHP и MySQL. Библия программиста. М.: Диалектика, 2010. 912 с.
- 
- 
-

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Антонченко Вадим Викторович** – зам. нач. по учеб.-науч. работе Дальневост. пож.-спас. академии МЧС России – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 27), e-mail: antovadim@yandex.ru, канд. юрид. наук;

**Антошина Татьяна Николаевна** – 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. пед. наук, доц.;

**Артамонова Галия Калимуловна** – проф. каф. теории и ист. гос-ва и права СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), art.0252@gmail.com, д-р юрид. наук, проф.;

**Бажухин Александр Викторович** – инж. ООО «Промстандарт» (197136, Россия, Санкт-Петербург, ул. Полозова, д. 12, оф. 1), тел.: 8 (812) 232-81-63, тел.: 8 (812) 315-36-17, e-mail: bazhukhin@gmail.com;

**Баринова Юлия Сергеевна** – курсант гр. САиУ28 СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: barinovayu@rambler.ru;

**Богданова Екатерина Михайловна** – курсант 47 уч. гр. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: katyunya.bogdanova.93@mail.ru;

**Воронцова Анна Анатольевна** – зам. нач. отд. расч. методов и инф. технологий в экспертизе пожаров Науч.-исслед. ин-та персп. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеятельности СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, наб. Октябрьская, д. 35), e-mail: annavorontsova@msn.com, канд. физ.-мат. наук;

**Гвоздик Михаил Иванович** – проф. 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, проф.;

**Гусев Николай Николаевич** – дир. ООО «НПФ «Лидинг» (197136, Россия, Санкт-Петербург, ул. Полозова, д. 12, оф. 1), e-mail: goussev\_nn@mail.ru;

**Иванов Анатолий Николаевич** – проф. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-69-70, e-mail: iv.52@mail.ru, канд. техн. наук, проф.;

**Иванов Константин Серафимович** – нач. 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.;

**Калинина Елена Сергеевна** – проф. каф. высш. мат. и сист. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: elenakali21@yandex.ru, канд. пед. наук, доц.;

**Каменецкая Наталья Владимировна** – доц. каф. высш. мат. и сист. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: natkam53@mail.ru, канд. техн. наук, доц., поч. раб. высш. проф. образ. РФ;

**Коннова Людмила Алексеевана** – вед. науч. сотр. Центра орг. науч.-исслед. и редакц. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: konnova.spb@gmail.com, д-р мед. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

**Котенко Пётр Константинович** – зав. каф. безопасн. жизнедеятельности, экстрем. и радиац. медицины Всерос. центра экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2); e-mail: medicine@arcerm.spb.ru, д-р мед. наук, проф.;

**Кузьмина Татьяна Анатольевна** – науч. сотр. отдела расч. методов и инф. технологий в экспертизе пожаров Науч.-исслед. ин-та персп. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеятельности СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, наб. Октябрьская, д. 35), тел. (812) 441-07-46 (доб. 6135), e-mail: kuzmina@spbugps.ru;

**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.;

**Максимов Александр Викторович** – препод. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: he1nze@mail.ru;

**Маркова Нина Борисовна** – ст. препод.-методист отд. практ. обучения уч.-метод. центра СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: AnakinaNina@rambler.ru;

**Мороз Наталья Александровна** – доц. каф. мех. и инж. графики СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: n\_moroz@list.ru, канд. техн. наук;

**Подружкина Татьяна Александровна** – нач. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-69-70, e-mail: pta@igps.ru, канд. пед. наук;

**Поляков Александр Степанович** – проф. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

**Прозоровская Светлана Дмитриевна** – доц. каф. высш. мат. и сист. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: sdp040190@ya.ru, канд. пед. наук, доц.;

**Сугак Владимир Петрович** – проф. каф. высш. мат. и сист. моделир. слож. процессов СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, д-р воен. наук, проф.;

**Сытдыков Максим Равильевич** – зам. нач. каф. физ. и теплотехн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: maxim0205@mail.ru, канд. техн. наук;

**Уткин Олег Валерьевич** – зам. нач. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-69-70, e-mail: utkin\_oleg@igps.ru;

**Широухов Александр Валерьевич** – препод. каф. мех. и инж. графики 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 впоследствии обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за более чем вековую историю подготовлено более 30 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспрецедентная 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 профессионального 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. Подготовка специалистов в университете организована по очной и заочной формам обучения, а также с использованием дистанционных образовательных технологий. Проводится обучение по программам среднего профессионального образования, высшего образования, а также подготовка специалистов высшей квалификации: докторантов, аспирантов, переподготовка и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – Латышев Олег Михайлович, кандидат педагогических наук, профессор.

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-технические эксперты и дознаватели. 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», специализация «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 2 академика РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 6 заслуженных деятелей науки РФ, 22 заслуженных работника высшей

школы РФ, 2 заслуженных юриста РФ, заслуженные изобретатели РФ и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время в университете осуществляют 4 лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники, 84 доктора наук, 327 кандидатов наук, 91 профессор, 157 доцентов, 26 академиков отраслевых академий, 26 член-корреспондентов отраслевых академий, 7 старших научных сотрудников, 1 заслуженный деятель республики Дагестан, 4 почетных работника высшего профессионального образования РФ, 2 почетных работника науки и техники РФ, 1 почетный работник высшей школы РФ и 1 почетный радиостaffer РФ.

Почетным Президентом Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России является статс-секретарь – заместитель министра МЧС России Артамонов Владимир Сергеевич, действительный Государственный советник I класса, доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники. Награжден почетной грамотой Президента РФ.

В период с 2002 по 2012 гг. В.С. Артамонов возглавлял Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

В состав университета входят:

- Институт развития;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Сибирская пожарно-спасательная академия – филиал университета;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета;
- Мурманский филиал университета;
- три факультета: пожарной безопасности, экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации;
- Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Магадан, Махачкала, Полярные Зори (Мурманская область), Петрозаводск, Стрежевой (Томская область), Чехов (Московская область), Хабаровск, Сыктывкар, Бургас (Республика Болгария), Алматы (Республика Казахстан), Бар (Республика Черногория).

В университете созданы:

- административно-правовой центр;
- учебный центр;
- учебно-методический центр;
- центр организации научно-исследовательской и редакционной деятельности;
- центр информационных и коммуникационных технологий;
- центр международной деятельности и информационной политики;
- центр дистанционного обучения;
- культурно-досуговый центр;
- технопарк науки и высоких технологий.

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

Реализуется проект по созданию на базе университета комплекса специального психофизиологического оборудования для психологического обеспечения деятельности профессиональных контингентов МЧС России.

На базе университета создана мастерская лаборатории «Инновационных технологий и научно-технической продукции».

В настоящее время в университете функционирует 4 диссертационных совета, 3 по техническим наукам, 1 по психолого-педагогическим наукам. За 2014 г. защищено

9 кандидатских диссертаций: 4 по техническим наукам, 4 по педагогическим наукам и 1 по психологическим.

В университете осуществляется подготовка специалистов высшей квалификации, в том числе и на возмездной основе. Подготовка докторантов, аспирантов и соискателей осуществляется по 9 отраслям науки и 34 специальностям.

На базе института дополнительного профессионального образования Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России создан институт развития. Деятельность института развития Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России направлена на обеспечение условий для реализации учебного процесса университета по программам дополнительного профессионального образования и актуализацию профессиональных знаний, совершенствование деловых качеств у руководящего состава, специалистов и сотрудников МЧС России. Институт осуществляет методическое, научное сопровождение и оказание помощи в организации образовательного процесса, повышении квалификации преподавательского состава учебных центров ФПС. Осуществляется оказание помощи ФКУ «Арктический спасательный учебно-научный центр «Вытегра» МЧС России в организации образовательного процесса и обеспечении учебно-методической литературой.

В настоящее время университетом проводится работа по вопросу организации образовательного процесса сотрудников (персонала) диспетчерской службы системы – 112.

Для обеспечения обучения в институте развития используются тематические классы, оборудованные программными модулями, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий.

Основанный в 1994 г. факультет заочного обучения в 2007 г. Приказом МЧС России № 387 преобразован в институт заочного и дистанционного обучения.

Институт заочного и дистанционного обучения является первым институтом в системе учебных заведений МЧС России заочной формы обучения с применением технологий дистанционного обучения. Он является базовой площадкой по созданию и внедрению в МЧС России системы дистанционного обучения кадров по программам профессионального образования.

В целях повышения качества и дальнейшего развития инновационной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и производственной инфраструктуры университета с 1 марта 2014 г. в составе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России Приказом МЧС России от 25 октября 2013 г. № 683 создан научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности. Основными научными направлениями деятельности института являются: разработка новых и совершенствование существующих инструментальных методов и технических средств исследования и экспертизы пожаров; производство судебных пожарно-технических экспертиз и исследований в области экспертизы пожаров; научно-методическое руководство деятельностью судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» в области исследования и экспертизы пожаров; применение расчётных методов в судебной пожарно-технической экспертизе; разработка нормативно-технической документации по обеспечению безопасности маломерных судов, баз, стоянок и других объектов, поднадзорных ГИМС МЧС России; разработка и внедрение нормативно-технической документации в области обеспечения пожарной безопасности водного транспорта, портовых сооружений и их инфраструктуры; сертификационные испытания, апробирование методик по стандартам ISO, EN и резолюциям IMO; разработка нормативной базы по обеспечению пожарной безопасности метрополитенов и транспортных тоннелей, а также других сложных и уникальных объектов, проведение расчётов индивидуального пожарного риска. Институт активно использует научный потенциал Санкт-Петербурга, развивая связи с ведущими вузами и НИИ города, такими как СПбГТУ, СПбТУ, ФГУП РНЦ «Прикладная химия» и др. Сотрудники института являются членами бюро Северо-Западного отделения Научного Совета при Президиуме РАН по горению и взрыву. Потребителями и заказчиками продукции

института являются органы МЧС России, юридические и физические лица Северо-Западного и других регионов России, фирмы США, Италии, Германии, Норвегии, Финляндии, Литвы и других стран.

Центр информационных и коммуникационных технологий университета обеспечивает надежную работоспособность, устойчивость и непрерывность функционирования средств автоматизации, функционирования программных и технических средств автоматизации в структурных подразделениях университета, а также доступ пользователей университета к различным информационным ресурсам в соответствии с установленным порядком; сохранность, антивирусную защиту, защиту от возможности проникновения из сети Интернет и резервного копирования информационных ресурсов университета; повышает качество образовательного процесса на основе активного освоения и распространения передового педагогического опыта с использованием стационарных и мобильных аудио-видео-компьютерных комплексов; проводит оснащение новых и модернизацию старых учебных аудиторий университета современными техническими средствами обучения; методическое обеспечение, консультацию и техническое сопровождение внедренных в подразделениях университета современных телевизионных и аудио-видео-компьютерных комплексов; создание и анализ банка данных по учебному процессу университета; осуществляет информационный обмен с банками данных других учреждений и организаций системы РСЧС.

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: Международная научно-практическая конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международный семинар «Предупреждение пожаров и организация надзорной деятельности», Международная научно-практическая конференция «Международный опыт подготовки специалистов пожарно-спасательных служб», Научно-практическая конференция «Совершенствование работы в области обеспечения безопасности людей на водных объектах при проведении поисковых и аварийно-спасательных работ», Международный конгресс «Вопросы создания и перспективы развития кадетского движения в МЧС России», межкафедральные семинары «Математическое моделирование процессов природных пожаров», «Информационное обеспечение безопасности при ЧС», «Актуальные проблемы отраслей науки», которые каждый год привлекают ведущих российских и зарубежных ученых и специалистов пожарно-спасательных подразделений.

На базе университета совместные научные конференции и совещания проводили Правительство Ленинградской области, Федеральная служба Российской Федерации по контролю за оборотом наркотических средств и психотропных веществ, Научно-технический совет МЧС России, Высшая аттестационная комиссия Министерства образования и науки Российской Федерации, Северо-Западный региональный центр МЧС России, Международная ассоциация пожарных и спасателей (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-Петербургским университетом ГПС МЧС России заключено более 16 договоров и соглашений о научно-техническом сотрудничестве в целях наиболее полного и эффективного использования интеллектуального и материально-технического потенциала и решения проблем, связанных с развитием сторон. Среди них: учреждение Российской

академии наук Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН (КНЦ СО РАН), ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Учреждение Российской академии наук – Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН (СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН), Петербургский энергетический институт повышения квалификации, Красноярский государственный медицинский университет им. профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, ГБУ науки «Институт динамики геосфер Российской академии наук».

Санкт-Петербургский университет 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 (CTIF), 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 5 программ по техносферной безопасности на английском языке для представителей Международной организации гражданской обороны.

На базе университета проводятся международные мероприятия под эгидой CTIF (КТИФ): заседание Исполнительного комитета КТИФ, рабочих групп «Женщины за безопасность», «Обучение и подготовка», конференции.

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 трех иностранных государствах (Болгария, Черногория, Казахстан). 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.

В рамках научного сотрудничества с зарубежными вузами и научными центрами издается Российско-Сербский научно-аналитический журнал «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности». Университетом заключен договор с Российско-Сербским гуманитарным центром (г. Ниш). В сентябре 2014 г. в рамках

сотрудничества в университете проведен семинар с представителями пожарно-спасательных служб Сербии по вопросам деятельности газодымозащитных служб.

В 2014 г. университетом проводился набор курсантов, обучавшихся в образовательных учреждениях пожарно-технического профиля Республики Украина, поступающих от Республики Крым и города Севастополь в количестве 11 человек по очной и 13 слушателей по заочной форме обучения.

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, альянктов и сотрудников.

Издаётся 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 1 500 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, осуществлено подключение к ведомственной сети интранет МЧС России.

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 426 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.

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: Сибирская пожарно-спасательная академия и библиотека учебно-спасательного центра «Вытегра», а также учебные центры. Так же с января 2015 г. создана и функционирует Единая ведомственная электронная библиотека объединяющая все библиотеки вузов МЧС России. Имеется доступ к каталогам крупнейших библиотек нашей страны и мира (Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина, Российская национальная библиотека, Российская государственная библиотека, Библиотека академии наук, Библиотека Конгресса). Заключен договор с ЭБС IPRbooks 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 8 261 экземпляр. На 2015 г., в соответствии с требованиями ГОС, выписано 130 наименований журналов и газет, из них более 50 наименований с грифом ВАК. Издания

периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. Также выписываются иностранные журналы.

На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб университета.

Типографский комплекс 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 РФ 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 периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук».

Учебная пожарная часть университета имеет 13 единиц современной техники, оснащенной необходимым оборудованием для доставки и проведения оперативных действий боевого расчета, проведения спасательных работ и подачи воды. Обучение курсантов и слушателей на образцах самой современной специальной техники и оборудования способствует повышению профессионального уровня выпускников.

Поликлиника университета оснащена современным оборудованием, что позволяет проводить комплексное обследование и лечение сотрудников учебного заведения и учащихся.

Все слушатели и курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей с получением удостоверений и книжек спасателей. Обучение проходит на базе Северо-Западного регионального ПСО МЧС России – учебно-тренировочного комплекса «Мурино» и Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра».

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. был создан центр по обучению кадетов. С 1 января 2015 г. Приказом МЧС России центр преобразован в кадетский пожарно-спасательный корпус.

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

Корпус осуществляет подготовку кадетов по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом специфики вуза.

В 2012–2014 гг. нештатные подразделения спасения университета, в состав которых входили сотрудники структурных подразделений, руководство и курсанты факультета пожарной безопасности, факультета экономики и права принимали участие в ликвидации последствий крупнейших природных чрезвычайных ситуаций в Краснодарском крае (г. Крымск), на Дальнем Востоке и Южном Урале.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов, кадетов 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.

В составе сборной команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) неоднократные чемпионы и призеры мировых первенств, международных и российских

турниров. Деятельность команды университета 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 проведение 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, черлидингу и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров. В октябре 2014 г. спортивный клуб «Невские львы» принят в Ассоциацию студенческих спортивных клубов России.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете культурно-досуговом центре. Обучающиеся 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».

Деятельность творческих объединений университета организует и координирует культурно-досуговый центр.

Одной из задач Центра является совершенствование нравственно-патриотического и духовно-эстетического воспитания личного состава, обеспечение строгого соблюдения дисциплины и законности, укрепление корпоративного духа сотрудников, формирование гордости за принадлежность к Министерству и университету. Парадный расчет университета традиционно принимает участие в параде войск Санкт-Петербургского гарнизона, посвященном Дню Победы в Великой Отечественной войне. Слушатели и курсанты университета – постоянные участники торжественных и праздничных мероприятий, проводимых МЧС России, Санкт-Петербургом и Ленинградской областью, приуроченных к государственным праздникам и историческим событиям.

В университете из числа курсантов и слушателей создано творческое объединение «Молодежный пресс-центр», осуществляющее выпуск корпоративного журнала университета «Первый». В 2014 г. курсанты «Молодёжного пресс-центра» впервые прошли производственную практику в Управлении организации информирования населения МЧС России.

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 в редакцию журнала с *резолюцией* заместителя начальника университета по научной работе. 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 версии* 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. Грэждану П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневого процесса: 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. 3503.

## **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 ВПО «Санкт-Петербургский университет  
Государственной противопожарной службы»**

Научно-аналитический журнал

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

**№ 1 (13) – 2015**

Выпускающий редактор П.А. Болотова

---

Подписано в печать 27.03.2015. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. 12,25 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

---

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