

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

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

**№ 1 – 2012**

**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 генерал-полковник внутренней службы **Артамонов Владимир Сергеевич**, начальник университета.

Заместитель председателя – доктор технических наук, профессор, подполковник внутренней службы **Шарапов Сергей Владимирович**, заместитель начальника университета по научной работе.

Заместитель председателя (ответственный за выпуск журнала) – доктор педагогических наук, профессор **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, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физики и теплотехники;

доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Скребов Валерий Николаевич**, профессор кафедры физики и теплотехники;

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

доктор физико-математических наук, профессор **Овчинников Андрей Олегович**, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов;

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

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 технических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Сильников Михаил Владимирович**, заведующий кафедрой взрывобезопасности и технических средств противодействия терроризму;

доктор военных наук, кандидат технических наук, профессор **Сугак Владимир Петрович**, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов;

**Секретарь совета:**

кандидат технических наук капитан внутренней службы **Бирюлёва Надежда Васильевна**, научный сотрудник отделения научно-технической информации центра организации и координации научных исследований.

### **Редакционная коллегия**

Председатель – кандидат юридических наук майор внутренней службы **Удальцова Наталья Вячеславовна**, начальник редакционного отдела.

Заместитель председателя – полковник внутренней службы **Сычева Елена Юрьевна**, главный редактор объединённой редакции редакционного отдела.

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

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Громов Виктор Николаевич**, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Военного инженерно-технического института;

кандидат физико-математических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Звонов Валерий Степанович**, профессор кафедры физики и теплотехники;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Алексеев Евгений Борисович**, заместитель начальника университета – начальник института заочного и дистанционного обучения;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, технический редактор объединённой редакции редакционного отдела;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Архипов Геннадий Федорович**, начальник центра организации и координации научных исследований.

**Секретарь коллегии:**

старший лейтенант внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, редактор объединённой редакции редакционного отдела.



## СОДЕРЖАНИЕ

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

Доррер Г.А., Мельник А.А., Коморовский В.С. Оценка эффективности процессов управления борьбой с крупными лесными пожарами на основе данных космического мониторинга. ....	5
Домрачев А.А., Коротков Ю.А., Кузиков В.И. О проблеме паводков на примере Сибирского федерального округа. ....	12
Грачев Е.В., Иванов К.С. Математическое моделирование процессов лесных пожаров. ....	16
Потапов А.И., Потапов И.А., Самойлов Б.В. Приборы и системы контроля и мониторинга физиологического состояния спасателя при чрезвычайных ситуациях. ....	27

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

Овчинников А.О. Расчет собственных частот ионосферно-магнитосферного альвеновского резонатора методами теории возмущений. ....	32
Поляков А.С., Иванов А.Н., Медведева О.М. О начальной величине вероятности безотказной работы технологического оборудования автозаправочных станций. ....	40
Шишкин В.М. Нелинейные эффекты в моделировании риска и параметризация критических состояний. ....	45
Дружинин П.В., Зайченко П.А., Бараш А.Л. Устройства для предотвращения образования сосулек. ....	51
Крашенинников М.В., Глушков А.И., Алерборн М.И. Унифицированный комплекс пункта сбора и обработки геофизической информации, сопровождающей предвестники природных и техногенных катастроф. ....	60

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

Багрецов С.А., Попов В.В. Применение методов многомерной размытой классификации в аналитическом профилировании. ....	71
Малый В.П., Матеров Е.Н. Информационная деятельность общественного центра «ЭКОЛАБ» в ЗАТО г. Железногорска в сотрудничестве с Сибирским институтом пожарной безопасности – филиалом Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. ....	82
Громов В.Н., Белякова Л.А. Интеллектуально-информационная поддержка при решении проблемных ситуаций на транспортных предприятиях. ....	87
Воробьев В.И., Фаткиева Р.Р. Автоматизированная система управления территориально-распределенной организацией на базе защищенных веб-серверов. ....	94
Иванов К.С., Мисевич Ю.В. Дифференциальные уравнения колебаний пожарных автомобилей при движении по дорогам. ....	99

Сведения об авторах .....	109
Информационная справка .....	111
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты) .....	116

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

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

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149.

Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 369-68-91. Email:redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

© Санкт-Петербургский университет Государственной  
противопожарной службы МЧС России, 2012

---

---

# МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

---

---

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ БОРЬБОЙ С КРУПНЫМИ ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Г.А. Доррер, доктор технических наук, профессор;**  
**А.А. Мельник, кандидат технических наук, доцент.**  
**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**  
**В.С. Коморовский, кандидат технических наук.**  
**Сибирский государственный технологический университет,**  
**г. Красноярск**

Рассмотрена динамика пожара, находящегося под воздействием противопожарных сил и средств. Показано, как по данным о динамике площади пожара, полученной по данным дистанционного мониторинга, можно оценить конфигурацию пожара, а также интенсивность процесса борьбы с пожаром.

*Ключевые слова:* лесные пожары, системы космического мониторинга, математическое моделирование

## ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS MANAGEMENT PROCESSES IN COMBATING LARGE FOREST FIRES BASED ON SPACE MONITORING

G.A. Dorrer; A.A. Melnik.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.  
V.S. Komorovski. Siberian State Technological University, Krasnoyarsk

The forest fire dynamics under the forest service force influence is discussed. It is shown how on the base of forest fire area dynamics information obtained by space monitoring the estimation of intensity of fire struggle may be obtained.

*Key words:* forest fires, systems of space monitoring, mathematical modeling

Для эффективного управления борьбой с лесными пожарами представляются актуальными исследование и оценка различных методов прогнозирования параметров пожаров на основе спутниковых данных с привлечением, где это возможно, дополнительной информации.

Исходной информацией для работы явились данные о лесных пожарах, хранящиеся в двух информационных системах: в Региональной системе спутникового мониторинга ГО и

ЧС (г. Красноярск) [1] и системе ИСДМ-Рослесхоз, созданной рядом организаций под руководством Института космических исследований РАН [2], которая используется ФГУ «Авиалесоохрана». Кроме того, использовались доступные данные о характеристиках леса в месте пожара, а также комплексы метеоданных.

Существуют различные методы прогнозирования распространения лесных пожаров на основе спутниковой информации [3, 4]. Авторами были исследованы статистические данные о пожарах, использованы методы OLAP и нейросетевого прогнозирования; разработана программа для преобразования данных, а также ГИС-ориентированное приложение для визуализации результатов прогноза.

Установлено, что при имеющемся уровне информационного обеспечения наиболее эффективным инструментом прогнозирования параметров крупных (свыше 200 га) лесных пожаров являются нейросетевые технологии. Предложены и верифицированы для ряда регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока нейросетевые модели прогнозирования суточного прироста площади, пройденной пожаром.

В настоящей работе показано, что, приняв ряд гипотез о динамике и конфигурации пожара, можно осуществить более глубокую обработку имеющейся информации. В частности, рассмотрены методы прогнозирования конфигурации пожара на основе информации о приросте площадей пожаров, полученной путем нейросетевой обработки данных, хранящихся в системах спутникового мониторинга лесов, и карт лесной растительности. На основе анализа динамики прироста площади пожара произведена оценка момента начала борьбы с пожаром и интенсивности этой борьбы.

Следует отметить, что на основе только спутниковых данных невозможно отличить эффект снижения прироста площади пожара, вызванный усилиями противопожарных сил и средств от эффекта, вызванного естественными причинами, например, осадками. Поэтому в работе предполагается, что факт борьбы с пожаром установлен, а естественные причины в данный период не играли существенной роли.

### **Базовая модель динамики площади лесного пожара**

Используемая в работе модель основана на следующих предпосылках.

По непосредственным данным мониторинга пожаров либо по вычисленному с помощью нейроимитатора приросту площади пожара [3, 4] строится модель динамики площади пожара

В работе приняты следующие допущения. Динамика изменения площади свободно развивающегося пожара определяется выражением

$$S(t) = k_0(t - t_0)^\alpha, \quad (1)$$

где  $t$  – текущее время;  $t_0$  – момент возникновения пожара, (сутки);  $k_0$  – постоянный коэффициент имеющий размерность  $га/сут^\alpha$ ,  $\alpha$  – показатель скорости роста площади. Как ясно из геометрических соображений, с показателем  $\alpha$  связано изменение скорости фронта пожара: при  $\alpha = 2$  эта скорость постоянна, при  $\alpha < 2$  скорость фронта со временем уменьшается, а при  $\alpha > 2$  скорость фронта возрастает.

Параметры модели  $t_0$ ,  $k_0$  и  $\alpha$  определяются по зарегистрированным со спутника значениям площади, пройденной пожаром в ряд последовательных моментов времени:

$$S_1 = S(t_1), S_2 = S(t_2), \dots, S_n = S(t_n), t_1 < t_2 < \dots < t_n. \quad (2)$$

## Оценка времени начала тушения пожара и скорости тушения по данным мониторинга

Идея изложенного ниже метода состоит в том, что на графике роста площади пожара обнаруживается точка перегиба, и по изменению наклона кривой оценивается момент начала и интенсивность противопожарных мероприятий.

Предположим, что имеется последовательность зарегистрированных площадей (2).

Вычислим приращение площади пожара за каждый промежуток времени (первую разность):

$$\Delta S(t_i) = S(t_i) - S(t_{i-1}), i = 2, 3, \dots, n, \text{ га/сут}, \quad (3)$$

а также приращение приращения (вторую разность):

$$\Delta^2 S(t_i) = \Delta S(t_i) - \Delta S(t_{i-1}), i = 3, 4, \dots, n, \text{ га/сут}^2. \quad (4)$$

Анализ величин  $\Delta S(t_i)$  и  $\Delta^2 S(t_i)$  позволяет сделать следующие выводы.

- величины  $\Delta S(t_i)$  всегда положительны (или равны нулю, когда пожар локализован);

- величины  $\Delta^2 S(t_i)$  положительны при свободном распространении пожара, становятся отрицательными при тушении пожара и обращаются в нуль при завершении его локализации.

Проиллюстрируем эти выводы на примере.

По данным Красноярской базы охраны лесов лесной пожар в Туранском лесничестве был зарегистрирован 21 апреля 2008 г. и развивался следующим образом (в таблице месяц и год не указаны).

Таблица

Дата $t_i$	Площадь пожара $S(t_i)$ , га	Приращение площади $\Delta S(t_i)$ , га/сут	Вторая разность $\Delta^2 S(t_i)$ , га/сут <sup>2</sup>	Состояние пожара
21	60	–	–	Свободно распр.
22	75	15	–	Свободно распр.
23	220	145	130	Свободно распр.
24	275	55	-90	Тушение
25	320	45	-10	Тушение
26	320	0	-45	Тушение
27	320	0	0	Локализован

Соответствующий график приведен на рис. 1. Анализ таблицы и графика свидетельствует о том, что с 21 по 23 число пожар развивался свободно, а с 24 по 26 числа производилось тушение, причем наибольшие усилия по тушению пришлось на 24-е число, 27 апреля пожар локализован.

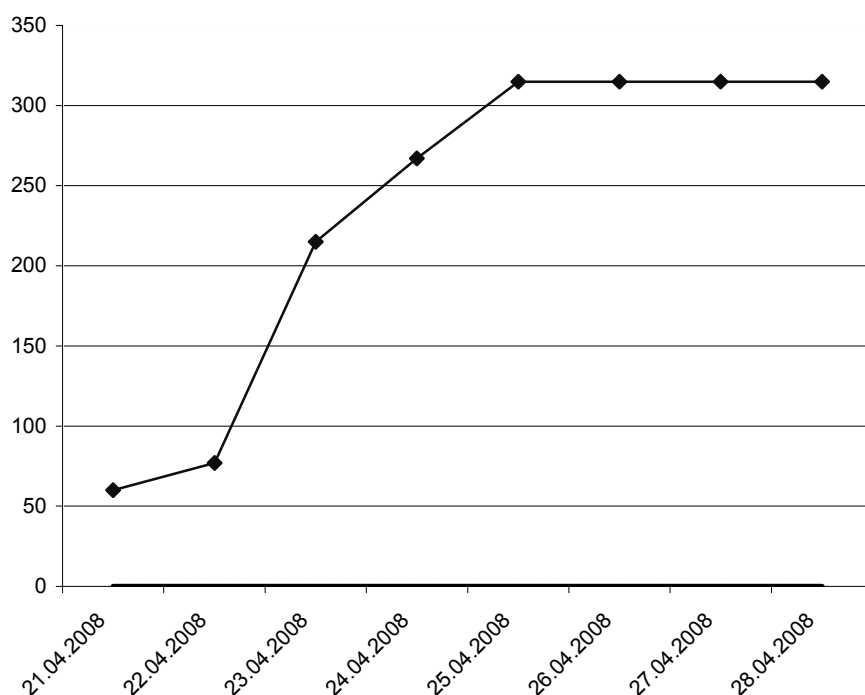


Рис. 1. Динамика изменения площади пожара в Туранском лесничестве 21–28 апреля 2008 г.

#### Динамика пожара, находящегося под воздействием противопожарных сил и средств

Следует подчеркнуть, что в данном разделе речь идет о локализации пожара, а не о его ликвидации. Согласно принятым методикам расчета необходимой производительности противопожарных сил, борьба с пожаром идет путем уменьшения длины горящей кромки пожара. Однако для крупных многодневных пожаров характерна сложная конфигурация горящей кромки, ее разорванность и переменчивость во времени. Поэтому для оценки эффективности борьбы с пожаром можно принять более общий показатель снижения скорости прироста площади, пройденной пожаром.

Будем считать, что противопожарные силы, начиная с момента начала тушения уменьшают скорость прироста площади пожара, то есть уменьшают значение коэффициента  $k_0$  в формуле (1).

В простейшем случае можно принять линейный закон:

$$k_0 = k_o(t) = k_1 - u(t - t_s), \quad t \geq t_s, \quad (5)$$

где  $t_s$  – время начала тушения пожара;  $u$ ,  $га/сут^{\alpha+1}$  – скорость изменения коэффициента  $k_0$ ; при  $t = t_s$  коэффициент  $k_0 = k_1$ .

Коэффициент  $u$  можно рассматривать как показатель интенсивности борьбы с пожаром, как интегральное управляющее воздействие со стороны противопожарных сил и средств.

Тогда скорость прироста площади в соответствии с (1) и (5) определится формулой:

$$R(t) = \frac{dS(t)}{dt} = \begin{cases} \alpha k_1 t^{\alpha-1}, & t \leq t_s, \\ \alpha(k_1 - u(t - t_s))t^{\alpha-1}, & t_F \geq t \geq t_s, \\ 0, & t \geq t_F. \end{cases} \quad (6)$$



При значении времени  $t_F = t_S + \frac{k_1}{u}$  и  $t \geq t_F$  скорость прироста площади  $R(t_F) = 0$ , что означает локализацию (остановку распространения) пожара. При этом  $S(t) = S(t_F)$  при  $t \geq t_F$ .

Общая площадь, пройденная огнем к моменту  $t_F \geq t \geq t_S$ :

$$S(t) = k_1 \alpha \int_0^{t_S} t^{\alpha-1} dt + \alpha \int_{t_S}^t (k_1 - u(t - t_S)) t^{\alpha-1} dt = k_1 t_S^\alpha + \alpha k_1 \int_{t_S}^t t^{\alpha-1} dt - \alpha k_2 \int_{t_S}^t (t - t_S) t^{\alpha-1} dt = k_1 t^\alpha - \frac{\alpha}{\alpha+1} u (t^{\alpha+1} - t_S^{\alpha+1}) + u t_S (t^\alpha - t_S^\alpha). \quad (7)$$

В случае, когда известны коэффициент  $k_1$ , моменты начала и окончания локализации  $t_S$  и  $t_F$ , а также  $S(t_F)$ , можно оценить коэффициент  $u$ , характеризующий интенсивность тушения:

$$u = \frac{k_1 t_F^\alpha - S(t_F)}{\frac{\alpha}{\alpha+1} (t_F^{\alpha+1} - t_S^{\alpha+1}) - t_S (t_F^\alpha - t_S^\alpha)} \text{ га/сум}^{\alpha+1}. \quad (8)$$

Подсчитаем площадь рассмотренного пожара в момент его локализации. Положим  $t_S - t_0 = 3 \text{ сум}$ ,  $t_F - t_0 = 7 \text{ сум}$ ,  $\alpha = 2.15$ ,  $k_1 = 10.23 \text{ га/сум}^{2.15}$ ,  $S(7) = 320 \text{ га}$ , тогда по формуле (24) получаем  $u = 2.771 \text{ га/сум}^{3.15}$ .

Отметим, что непосредственно по формуле (5), положим  $k_0 = 0$ , получим несколько другое значение этого коэффициента:

$$u = \frac{k_1}{t_F - t_S} = 2.56 \text{ га/сум}^{3.15}.$$

Разница значений объясняется влиянием погрешности величины  $t_0$  — момента возникновения пожара и нелинейным характером роста площади пожара во времени.

Модель (5)–(8) позволяет оценить динамику параметров пожаров в зависимости от величины управляющего воздействия  $u$ . На рис. 2–6 показано изменение параметров рассмотренного выше пожара при различных значениях величины  $u$  и  $t_F$ . Наглядную картину динамики параметров пожара при различных  $u$  можно представить в виде графиков изменения во времени величин  $S$ ,  $dS/dt$  и  $d^2S/dt^2$ , а также фазовых портретов, построенных в координатах  $S - dS/dt$  и  $dS/dt - d^2S/dt^2$ .

На рисунках приведены семейства кривых, полученных при ряде значений параметров модели. Номера кривых соответствуют следующим значениям (размерность этих величин указана выше):

- 1 -  $t_F \rightarrow \infty, u = 0$  — свободно распространяющийся пожар;
- 2 -  $t_F - t_S = 6, u = 1.705$ ;
- 3 -  $t_F - t_S = 5, u = 2.046$ ;
- 4 -  $t_F - t_S = 4, u = 2.56$  — рассмотренный случай;
- 5 -  $t_F - t_S = 3, u = 3.41$ ;
- 6 -  $t_F - t_S = 2, u = 5.12$ .

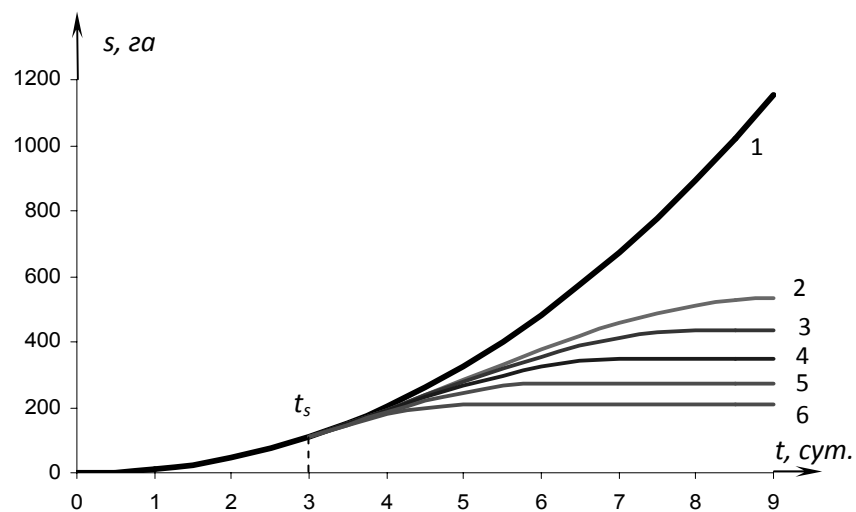


Рис. 2. Графики изменения площади, пройденной пожаром

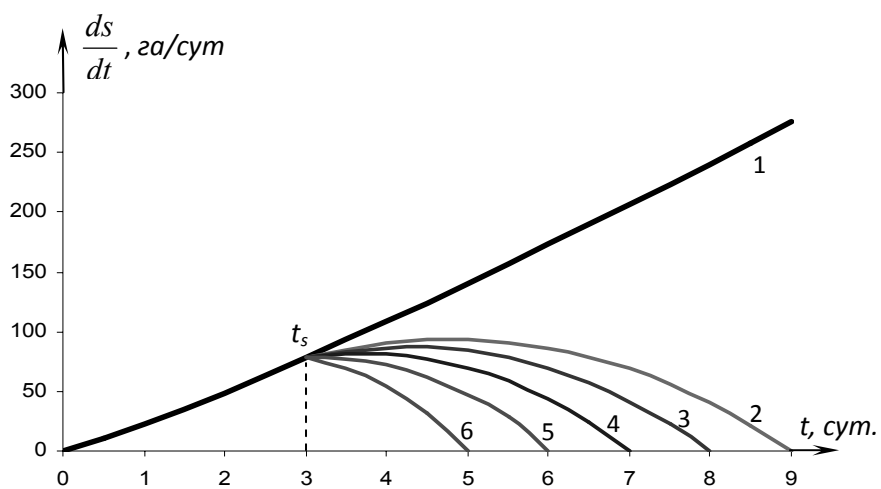


Рис. 3. Графики скорости прироста площади пожара

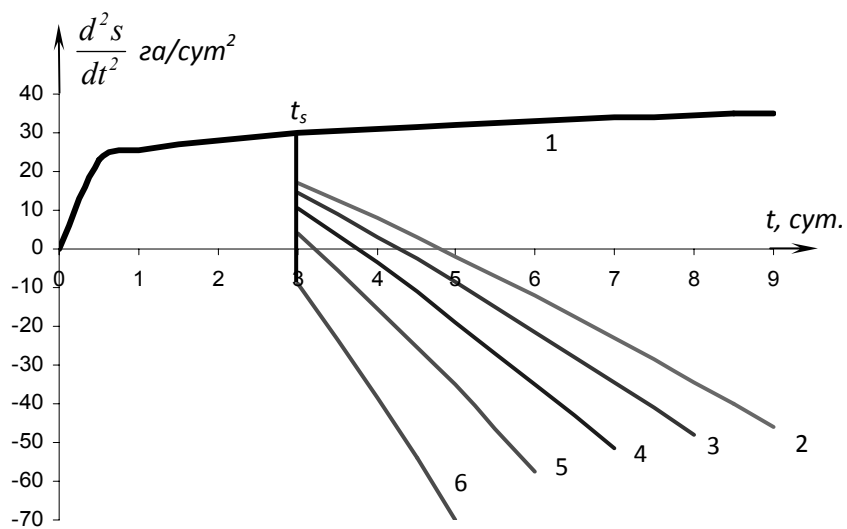


Рис. 4. Графики ускорения прироста площади пожара

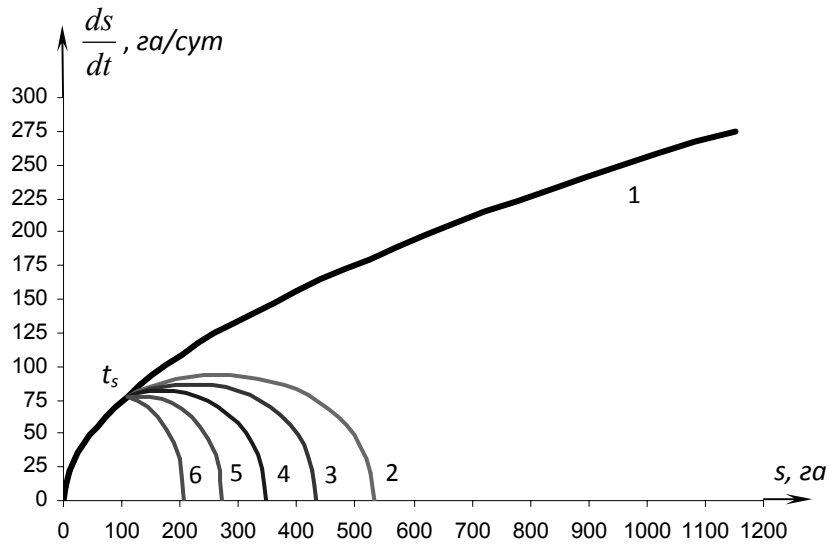


Рис. 5. Фазовый портрет динамики пожара в координатах  $S - dS/dt$

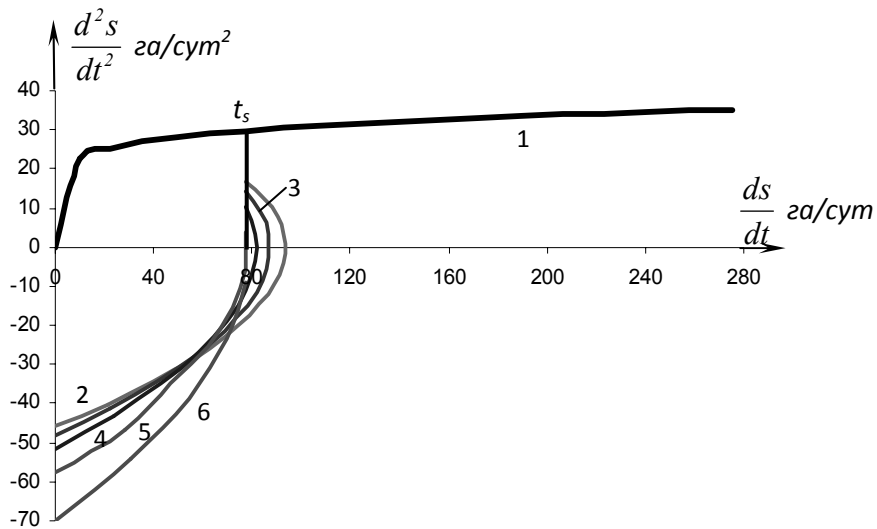


Рис. 6. Фазовый портрет динамики пожара в координатах  $dS/dt - d^2S/dt^2$

Видно, что с ростом управляющей величины  $u$  уменьшается время локализации пожара  $t_F$ , а также площадь, пройденная огнем. Следует также отметить, что в данной модели в соответствии с формулой (6) получается разрыв второй производной  $d^2S/dt^2$  в момент начала борьбы с пожаром  $t_s$  и в момент ее окончания  $t_F$ . Физически это означает, что противопожарные команды начинают борьбу с пожаром максимально интенсивно, без постепенного наращивания сил, и также одновременно эту борьбу заканчивают. Для получения более реалистичной модели следует рассматривать управляющее воздействие как функцию времени  $u(t)$ , и тогда мы приходим к задаче оптимального управления, аналогичной постановке Парлара и Виксона [5]. Такая задача будет рассмотрена при дальнейших исследованиях.

Приведенные в работе математические модели и примеры расчетов говорят, на наш взгляд, о принципиальной возможности оценивать динамику крупных лесных пожаров и производить более глубокую обработку данных об их динамике – как свободно распространяющихся, так и находящихся под воздействием противопожарных сил и средств – по сравнению с существующим уровнем обработки, принятым в упомянутых выше системах мониторинга лесных пожаров. Авторами создан и успешно испытан программный модуль нейросетевого прогнозирования параметров лесных пожаров на основе спутниковой информации. В настоящее время ведется разработка подсистемы прогнозирования лесных пожаров с более широкими функциями. Возможно, полезным окажется использование моделей пожара, основанных на уравнениях тепло- и массообмена [6].

Следует надеяться, что по мере накопления опыта качество прогнозирования параметров лесных пожаров и оценки эффективности противопожарных мероприятий будет возрастать.

### **Литература**

1. Sukhinin A.I., Kashkin V.B., Ponomarev E.I. Monitoring Forest Fires in Eastern Siberia from Space // Proc. of SPIE. Vol. 3983. P. 206.
2. Барталев С.А. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Институт космических исследований РАН. 2008. Т. 5. № 2. С. 419–429.
3. Тестирование моделей поведения лесных пожаров и методики прогнозирования распространения лесного пожара для оценки возможности использования их в ИСДМ – Рослесхоз: отчет по договору № 221/99 от 01.07.2009 г. с ИЛ СО РАН. Красноярск: Сиб ГТУ, 2009. 57 с.
4. Дорпер Г.А., Коморовский В.С., Якимов С.П. Методика оценки и прогнозирования параметров крупных лесных пожаров на основе спутниковой информации. // Хвойные бореальной зоны. 2010. Е. 27. № 4. С. 434–439.
5. Parlar M. Optimal Forest Fire Control: an Extension of Park's Model / V. Parlar, R.G. Vicson // Forest Science. 1982. Vol. 28. N 2. P. 345–355.
6. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 407 с.

## **О ПРОБЛЕМЕ ПАВОДКОВ НА ПРИМЕРЕ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

**А.А. Домрачев, кандидат медицинских наук;**

**Ю.А. Коротков;**

**В.И. Кузиков.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Охарактеризована система противодействия паводкам в Российской Федерации и задачи, возложенные на МЧС России в этой области. Представлены данные по противодействию паводкам на территории субъектов Сибирского федерального округа за последние годы. Приведены факторы и механизм формирования паводков. Представлен обзор потенциальных перспективных разработок, использование которых может способствовать совершенствованию деятельности МЧС России в данной области возложенных задач.

*Ключевые слова:* паводок, затор льда, уровень воды, торос, ледяной покров, происшествие

## ABOUT PROBLEM HIGH WATER ON EXAMPLE SIBERIAN FEDERAL NEIGHBORHOOD

A.A. Domrachev; Y.A. Korotkov; V.I. Kuzikov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The Characterized system of the reluctance high water in Russian Federation and problems, entrusted on EMERCOM of Russia in this area. Brings the given high water on reluctance on territory subject SFO in recent years. The Broughted factors and mechanism of the shaping high water. The Presented review of the potential perspective developments, which use can promote the improvement to activity of EMERCOM of Russia in given area of the problems and responsibility of EMERCOM of Russia.

*Key words:* the high water, jam, level of water, hummock, icy cover, event

Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в Российской Федерации объединяет федеральные и территориальные подсистемы посредством деятельности комиссий по предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий и обеспечению пожарной безопасности различных уровней. В рамках своей компетенции и возможности они осуществляют ликвидацию и смягчение последствий противодействия угрозе паводков [1, 2]. Значительная часть организационных мероприятий, технической поддержки по предупреждению, прогнозированию и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций и происшествий, с ними связанных, возложена на МЧС России. К их числу относятся: выработка и реализация государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, в пределах компетенции МЧС России, осуществление управления в области защиты населения, управления деятельностью федеральных органов исполнительной власти в рамках РСЧС.

В сфере деятельности МЧС России находится: планирование противопаводковых мероприятий, мониторинг и прогнозирование вероятных ЧС (происшествий), ликвидация их последствий, обмен информацией со звеньями территориальных и функциональных подсистем РСЧС, обнаружение мест затора, выставление оцепления, эвакуация пострадавших, проведение взрывных работ, восстановление дорог, организация и осуществление деятельности оперативных штабов спасательных работ [3].

Данное направление деятельности МЧС России актуально для Сибирского федерального округа (СФО). Так, в 2010 г. в рамках профилактики и ликвидации паводкоопасных ситуаций на территории СФО был реализован следующий объем работ: осуществлено 1456 подрывов льда с использованием 95,4 т взрывчатых веществ; отсыпано восемь защитных дамб общим объемом 234117 м<sup>3</sup>; произведена расчистка русел рек в четырех субъектах общей протяженностью 32,4 км; пропилено 87,3 км льда; зачернено 40,2 км<sup>2</sup> льда; привлекалось 91 воздушное судно с общим налетом более 306 ч. Характерные происшествия, обусловленные паводком, происходили на многих водных акваториях СФО: реках Красноярского края (Енисей, Бугач, Черемшанка, Ужурка, Серез, Чулым), Томской области (Большая Черная, Томь), Республики Хакасия (Абакан), Алтайского края (Чарыш, Чумыш), Республики Тыва (перелив талых вод), Новосибирской области (Бакса, Иня, Койниха, Карасук, Тула, Верх-Тула, Оеш, Каракан, Ташарка, Каменка, Малый Барлак), Забайкальского края (Ингода).

Формирование предпосылок к возникновению ЧС, связанных с паводками на территории Сибири, связано с наличием ряда факторов объективной природы:

- формирование в осенне-зимний период года ледяного покрова, достигающего толщины 100–150 см (против 70–80 см на реках европейской территории России);
- наличие больших скоростей течения рек, составляющих в среднем 1,0–1,5 м/с;
- наличие особенностей рельефа русла, дна реки в виде отмелей, перекатов, мелководья, способствующих торосообразованию;
- северное направление течения рек.

Большинство паводков формируется в результате заторных явлений вследствие ледохода, а паводковые явления могут быть удалены от ледовой плотины на десятки километров [4, 5]. Крупные заторы могут образовываться и на полноводных больших реках. Здесь протяженность заторных участков скопления льда может составлять десятки километров. Продолжительность существования заторов в среднем составляет 3–5 суток, наиболее мощных – до 10 суток. Подъем уровня воды достигает 5–8 метров. Высокие подъемы подпорного уровня воды в связи с ледовыми заторами характерны для реки Енисей в районе поселка Ворогово (Енисейского района) и ниже по течению реки.

Механизм заторообразования реализуется по следующему сценарию. В осенне-весенний период ледовые поля водных акваторий образуют значительную толщину в силу низких атмосферных температур, преобладающих значительный промежуток времени года (данный момент приобретает особое значение в малоснежные зимы, когда толща льда на участках мелководья переходит в участки полного промерзания с образованием ледовых полей, спаянных с берегами рек, достигая толщины 1,5–2 м на значительных территориях акватории). В результате формируется сужение русла и вскрытие рек приобретает более интенсивный характер, образуя участки ледохода протяженностью до 100 км/сутки и более. Нахождение больших массивов льда в фарватере русла реки, как правило, сочетается с относительно низким уровнем воды в реке. В результате перемещения ледовых полей, льдин и ледовых масс по фарватеру на криволинейных участках русла формируются идеальные условия для интенсивного торосообразования. Следует отметить, что ледовые массы в диапазоне температур, близких к нулевым значениям, накапливают в себе значительные объемы воды, а в целом эти водно-ледовые конгломераты приобретают более высокую плотность с отрицательной плавучестью, соответственно. В результате в весенний период года на реках СФО, имеющих северную ориентацию течения, низкий уровень воды, высокую скорость течения, образуются заторы (рис.), которые с ежегодной регулярностью воспроизводятся на одних и тех же участках русла рек [6].



**Рис. Подтопление г. Назарово Красноярского края: превышение критического уровня на 1,2 м (2 мая 2010 г., река Чулым)**

Объем противопаводковых мероприятий, реализуемых силами и средствами МЧС России, в СФО имеет положительную тенденцию роста. Так, в весенний период 2010 г. по сравнению с аналогичным периодом 2009 г. увеличился объем пропиливания льда (в 95 раз), зачернения льда (в 40 раз), подрывов льда (в 2,5 раза). Однако желаемых результатов эта интенсивная деятельность не принесла. Так, количество подтопленных домов и пострадавшего населения в Томской области увеличилось на 321 дом (920 пострадавших, из них 229 детей); в Красноярском крае – на 214 домов (725 пострадавших, из них 123 ребенка); в Алтайском крае – на 232 дома (820 пострадавших, из них 168 детей); в Иркутской области – на 111 домов (406 пострадавших, из них 41 ребенок). Снижение объемов подтопления домов наблюдалось в Кемеровской области – на 2 подтопленных дома. Возможно, что неудовлетворительные результаты противодействия паводкам связаны с тем, что варианты применяемых на сегодняшний день технологий недостаточно эффективны. Во многом это может быть связано с тем, что используемые технологии в своем противодействии ориентированы не на причину, а на следствие развивающейся и нарастающей ситуации. Практически «на глаз» осуществляются зондирование и пропиловы толщи льда. Методика зачернения малоэффективна и затратна в целом как направление работ.

Система мониторинга и оперативных мероприятий по прогнозу заторных явлений на реках Сибири функционировала намного эффективнее, если бы была связана и реализовывалась на основе целевой научной программы по изучению и прогнозированию заторообразования, основанной на данных фактических наблюдений формирования заторов, гидрометеорологической информации в сочетании с ГИС-данными. В этом случае предупредительные мероприятия в виде проведения ледовзрывных, ледорезных работ, строительства дамб, зачернения льда, радиационно-химических мероприятий имели бы больший эффект.

Следует отметить, что по рассматриваемой проблеме в Российской Федерации реализован ряд инновационных разработок, связанных с усовершенствованием технологий противодействия паводкам. Например, в части ликвидации и разрушения заторообразования (патенты РФ на изобретения № 2356777, 2250955, 2243324, 2233227, 2229415); изменения технологии ледовзрывных работ, использования смеси горючих газов, применение технологий разупрочнения ледовых полей, разрушения ледового покрова (патенты РФ на изобретения № 2277494, 2268192, 2213022, 2198983, 2194121).

Основываясь на актуальности проблем паводков в Российской Федерации и Сибирском федеральном округе, в частности, представляется целесообразным обобщить имеющийся опыт противодействия паводкам, проанализировать реализованные идеи и разработки с целью их адаптации к задачам, возложенным на МЧС России.

Среди потенциально перспективных разработок и технологий особое внимание следует уделить вопросам: превентивного разупрочнения ледовых полей; разрушения ледовых покровов на водных акваториях, находящихся на территории населенных пунктов; внедрения в технологии мониторинга паводковой обстановки современных аппаратно-приборных комплексов типа георадаров, позволяющих оценивать состояние снежного покрова, ледовой обстановки и подледного слоя воды одновременно. Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что на сегодняшний день в области противодействия паводкам, должен быть реализован информационно-аналитический обзор используемых способов и методик проведения превентивных мероприятий и ликвидации ЧС.

### **Литература**

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федер. закон Рос. Федерации от 21 дек. 1994 г. № 68-ФЗ.
2. О Единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: Постановление Правительства Российской Федерации от 30 дек. 2003 г. № 794.
3. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Указ Президента

РФ от 11 июля 2004 г. № 868.

4. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XX века: уроки и выводы. М.: ООО «ДЭКС-ПРЕСС», 2003. 351 с.

5. Методические рекомендации по предотвращению образования ледовых заторов на реках Российской Федерации и борьбе с ними / М.А. Шахрамьян, А.Б. Векслер, В.И. Пчелкин. М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС, 2003. 234 с.

6. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

**Е.В. Грачев, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ;**

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

Рассмотрены физические условия и процессы возникновения, распространения и прекращения лесных пожаров, их теплофизические и математические модели. Анализ процессов горения проводился на основе модели температурного поля тела при его горении, предложенной профессором Я.С. Киселевым, а также на основе статистического анализа процессов развития лесных пожаров. Приведенные зависимости и предложенные методики позволяют математически описать процессы, происходящие при лесных пожарах и определить их основные характеристики.

*Ключевые слова:* лесные пожары, математическое моделирование, площадь, распределение, данные

## **MATHEMATICAL SIMULATION OF PROCESS OF FOREST FIRE**

E.V. Grachev; K.S. Ivanov.

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

In report physical conditions and processes of origin, distribution and the termination of forest fires and as heat-physical and mathematical models are considered. The analysis of processes of burning was spent on the basis of model of a temperature field of heat at its burning, offered by professor J.S. Kisilev, and as on the basis of the statistical analysis of developments of forest fires. The resulted dependences and the offered techniques allow to describe by mathematic method the processes occurring at forest fires and to define their basic characteristics.

*Key words:* forest fires, mathematical modeling, area, distribution, data

Лесные пожары наносят большой экономический и социальный ущерб как государствам, так и частным лицам: горят леса, сельскохозяйственные и культурные посадки, дома, постройки, гибнут животные, в ряде случаев пожары приводят к гибели людей. Большое количество сил и средств приходится привлекать для тушения лесных пожаров. Для устранения негативных последствий лесных пожаров необходимо систематически проводить профилактические мероприятия, устраняющие условия, при



которых они возникают. Большое значение имеет прогнозирование развития лесных пожаров, которое позволяет обоснованно подходить к планированию мероприятий по их тушению, определять количество привлекаемых пожаротехнических сил и средств, рациональные способы их использования.

Для прогнозирования оценки реальной обстановки при лесном пожаре необходимо знать физическую сущность процессов горения, которые определяют их характеристики и закономерности развития. Основным содержанием физики горения как науки является анализ и математическое описание условий, при которых возникает, распространяется и прекращается горение. Процесс возникновения горения рассматривается как вынужденное зажигание газообразной горючей смеси, которая образуется на поверхности горючего материала при нагреве до определенных температурных условий. Физические закономерности развития процессов горения могут явиться основой для определения математических зависимостей и моделей, позволяющих количественно определить их характеристики и влияющих на них параметры.

К лесным пожарам следует относить не только пожары, происходящие в лесных районах (верховые, низовые), но и пожары, происходящие на местности, покрытой кустарниками, на лугах, сельскохозяйственных полях, торфяные пожары на болотах.

Рассмотрим более подробно физические процессы, происходящие при лесных пожарах.

Растения (деревья, кусты, трава и т.д.) состоят из множества отдельных растительных элементов (участки стволов, сучья, листья).

Развитие больших лесных пожаров, охватывающих значительные территории, можно условно разделить на два этапа. На первом этапе под воздействием тепла тела, нагретого до высокой температуры, пламени, теплового потока, излучения или других возможных причин (удара молнии, искры, непогашенной спички, окурка, костра и т.д.) происходит зажигание одного или нескольких растительных элементов. Образующиеся при этом тепловые потоки излучения могут приводить к зажиганию и последующему горению расположенных рядом растительных элементов. При этом будет расширяться площадь местности, на которой будет происходить горение. Этому способствует ветер и конвективные явления, которые усиливают тепловые потоки от горящих растений или лесной подстилки в горизонтальном и вертикальном направлениях, что приводит к распространению огня на обширные территории, а при определенных условиях – к возникновению верховых пожаров.

Условно можно определить две модели распространения лесных пожаров. В случаях, если растительность распределена на местности неравномерно, отдельными участками, огонь передается от горящего участка или нескольких участков к смежному участку, который еще не загорелся, за счет воздействия на него тепловых потоков, излучений пламени или искр. В тех случаях, если растительность сравнительно однородная, по характеристикам горючих материалов и по расположению на местности (кустарники, луга, сельскохозяйственные поля), может быть принята линейная модель распространения пожара, когда огонь распространяется от горящего слоя растительности к следующему смежному и т.д.

Рассмотрим более подробно условия возникновения, распространения и прекращения горения растительного элемента на основе теплофизической модели распределения температур в горючем материале при зажигании и горении, предложенной профессором Я.С. Киселевым (рис. 1) [1]. Анализ показал, что эта модель с достаточно высокой достоверностью отражает процессы горения растительных элементов.

Примем некоторые допущения, которые упрощают анализ, но не нарушают основных физических принципов развития рассматриваемых процессов горения. Будем полагать, что на процессы горения не оказывают влияния ветер, дождь, повышенная влажность, кавитационные потоки.

В рассматриваемой теплофизической модели определяются три зоны: прогрева ( $AB$ ), горения ( $BCD$ ), тления (выгорания) ( $DE$ ). В зоне прогрева происходит подготовка материала растительного элемента к горению.

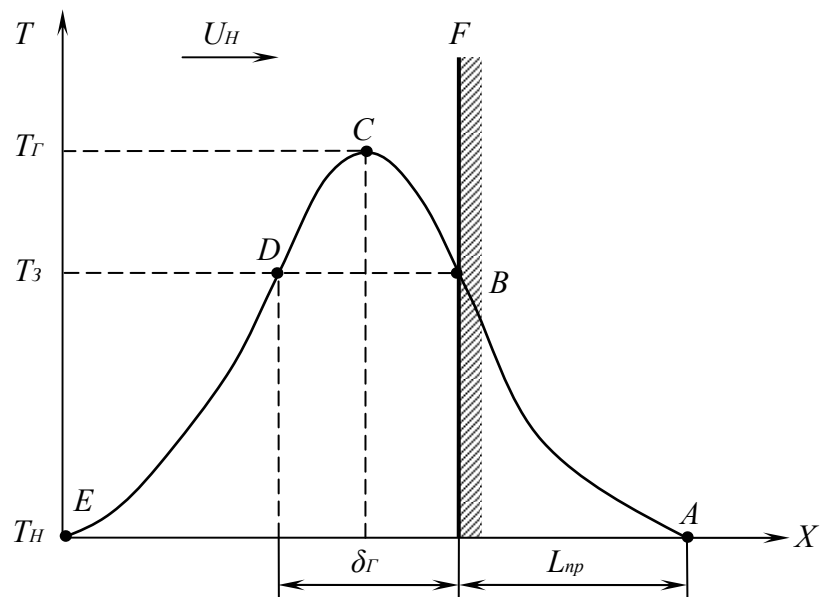


Рис. 1

Горение растительного элемента возникает в результате нагрева его поверхности  $F$  (фронтальной плоскости распространения горения) до достаточно высокой температуры. При этом на поверхности элемента в результате испарения влаги, выделения из его материала горючих продуктов термического пиролиза и смешивания их с воздухом образуется парогазовая (горючая) смесь. Горение возникает на фронтальной плоскости горения  $F$  в результате нагрева горючей парогазовой смеси от температуры окружающей среды  $T_n$  до температуры не ниже температуры зажигания  $T_z$ . Зажигание горючей смеси может происходить от нагретого до высокой температуры тела, пламенем, тепловым потоком или излучением. При этом на фронтальной поверхности растительного элемента образуется волна горения ( $ABCD$ ), которая распространяется внутрь объема горючей среды. Таким образом, причиной зажигания горючей смеси является температура или действующий на нее тепловой поток.

В зоне горения ( $BCD$ ) за счет вовлечения в процесс горения дополнительных порций горючей смеси происходит самостоятельный разогрев горючей среды и ее температура повышается от температуры зажигания  $T_z$  до температуры горения  $T_r$ . По мере выгорания горючей смеси температура среды в зоне горения будет понижаться, и когда она будет ниже температуры зажигания  $T_z$  (точка  $D$ ), горение наружного слоя материала растительного элемента перейдет в тление (догорание). К этому времени за счет тепла, образованного в зоне горения, будет подготовлена горючая смесь, которая будет выделена следующим слоем, материала растительного элемента, произойдет зажигание горючей смеси и горение этого слоя. Таким образом, будет происходить послойное горение материала горючего элемента до полного его сгорания или прекращения горения.

Лесные пожары могут происходить в результате самовозгорания скоплений дисперсных и пористых горючих материалов (скоплений опавших листьев, травы, сена). Самовозгорание скоплений таких материалов вызывается происходящими окислительными процессами, которые приводят к их нагреванию. При определенных условиях (особенно при

высокой температуре окружающей среды) интенсивность тепловыделения может превысить интенсивность теплоотвода. При этом масса материала начнет прогреваться, его температура будет повышаться не только во внутреннем объеме, но и на поверхности материала, где будет образовываться горючая парогазовая смесь. При достижении смесью на поверхности материала температуры зажигания произойдет ее зажигание, что приведет к возникновению волны пламенного горения.

Приведем математические зависимости, позволяющие получить количественную оценку, некоторых важных характеристик процессов горения, раскрывающих их физическую сущность, и определяющие основные физические параметры, влияющие на возникновение, распространение и прекращение горения [1].

Исходным является уравнение тепловых потоков, обеспечивающих развитие процессов горения:

$$2n\lambda \frac{T_G - T_3}{\delta_G} = U_H C_P \rho (T_3 - T_H), \quad (1)$$

где  $T_H$  – начальная температура горючей смеси;  $T_3$  – температура зажигания горючей смеси;  $T_G$  – температура горения;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности горючей смеси;  $U_H$  – нормальная скорость распространения горения (перпендикулярно фронтальной плоскости горения  $F$ );  $n$  – относительный температурный градиент, обычно принимается  $n = 2$  [1];  $C_P$  – удельная теплоемкость материала растительного элемента;  $\rho$  – плотность материала растительного элемента;  $\delta_G$  – ширина зоны горения.

В уравнении (1) левая часть выражает величину теплового потока от зоны горения к зоне прогрева, а правая – величину теплового потока, воспринимаемого зоной прогрева, в которой горючая смесь нагревается от начальной температуры  $T_H$  до температуры зажигания  $T_3$ .

Из уравнения (1) после ряда преобразований получим [1]:

$$U_H = \frac{naC_P\rho P_+}{\psi\alpha(T_3 - T_H)}, \quad (2)$$

где  $P_+$  – средняя скорость повышения температуры в зоне горения от  $T_3$  до  $T_G$ ;  $a$  – коэффициент температуропроводности,

$$a = \frac{\lambda}{C_P\rho},$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $\psi$  – коэффициент неравномерности нагрева,

$$\psi = \frac{n\lambda}{\alpha R_X + n\lambda}; R_X = 0,5\delta_G.$$

Ширина зоны прогрева:

$$L_{\text{пп}} = \frac{na}{U_H}. \quad (3)$$

Ширина зоны горения:

$$\delta_{\Gamma} = \frac{2na(T_{\Gamma} - T_3)}{U_H(T_3 - T_H)}. \quad (4)$$

Среднее время горения:

$$\tau_{\Gamma} = \frac{\delta_{\Gamma}}{U_H}. \quad (5)$$

Среднее время прогрева горючей смеси:

$$\tau_{\Pi P} = \frac{L_{\Pi P}}{U_H}. \quad (6)$$

Приведенные зависимости, в связи с тем, что они получены с учетом принятых допущений, дают только приближенную количественную оценку рассматриваемых характеристик горения. Однако эти зависимости позволяют анализировать физические явления, происходящие при лесных пожарах, причины их возникновения, определять профилактические мероприятия, направленные на повышение пожарной безопасности.

Тление является разновидностью самораспространяющегося горения. Теплофизическая модель процессов тления аналогична модели процессов горения (рис. 1). От пламенного горения тление отличается более низкой температурой в зоне тления и более медленной скоростью волн тления. При потоке кислорода скорость тления возрастает, и оно может переходить в стадию пламенного горения. Тление возникает в скоплениях самонагревающихся волокнистых органических материалах (торф, опилки, скошенная трава, опавшие листья, лесная подстилка).

Самопроизвольное распространение тления поддерживается благодаря тому, что от зоны тления и зоны прогрева идут тепловые потоки через фронтальную плоскость тления  $F$ . Достаточные для нагревания горючей смеси от температуры до  $T_H$  температуры зажигания,  $T_3$ , вызывающей тление.

Переход от самонагревания к тлению органических материалов обусловлен их термическим распадом, при котором может происходить обугливание материала. Скорость термического распада материала определяется притоком кислорода в зону тления. В случаях значительного притока кислорода тление переходит в пламенное горение.

Математические зависимости, определяющие характеристики процессов, происходящих при тлении, аналогичны соответствующим зависимостям, определяющим характеристики процессов горения.

Процессы тления весьма опасны, так как могут приводить к возникновению или возобновлению лесных пожаров. Тление возникает на торфяных болотах, в местах скопления торфа. Тление торфа часто может происходить на значительной глубине, что затрудняет его тушение. При выходе процесса тления на поверхность, что приводит к резкому увеличению притока кислорода, тление переходит к пламенному горению. Это может вызывать низовой, а в некоторых случаях и верховой лесные пожары. Тление может возникнуть в лесных подстилках после прекращения или тушения лесного пожара. В этих случаях при определенных условиях (теплая сухая погода, ветер) могут возникать резервы возобновления лесных пожаров.

К основным характеристикам лесных пожаров относятся:

- скорость распространения фронта огня (горения)  $V_{\phi}$ ;
- длина фронта огня  $L_{\phi}$ ;
- ширина зоны горения  $B_{\Gamma}$ ;
- температура в зоне горения  $T_{\Gamma}$ ;

- высота пламени в зоне горения  $H_{\Gamma}$ ;
- время горения материала растений  $\tau_{\Gamma}$ ;
- ширина зоны тления  $B_T$ ;
- время тления материала растений  $\tau_T$ .

Указанные характеристики зависят от весьма большого количества факторов, имеют случайный характер и подчиняются статистическим закономерностям. Поэтому в практических расчетах и анализе, как правило, используются средние величины (математические ожидания) этих характеристик. Весьма большое влияние на распространение и интенсивность развития лесных пожаров оказывает ветер. Связано это с тем, что ветер приводит к поступлению в зону горения дополнительных порций кислорода, увеличению скорости температуры горения и горизонтальных тепловых потоков, обеспечивающих образование и прогрев горючей смеси смежных участков растительности от начальной температуры  $T_n$  до температуры зажигания  $T_z$  и образование новых участков горения.

Ветер представляет собой случайный процесс, основными характеристиками которого являются математическое ожидание (среднее значение) скорости ветра  $m_v$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma_v$ , корреляционная функция

$$k(\tau)_v = \sigma_v^2 \sum_{i=1}^n A_i l^{\varepsilon_i |\tau|}, i = 1, 2, 3;$$

и спектральная плотность

$$S(\nu)_v = \frac{2\sigma_v^2}{\pi} \left( \frac{A_1 \varepsilon_1}{\nu^2 + \varepsilon_1^2} + \frac{A_2 \varepsilon_2}{\nu^2 + \varepsilon_2^2} \right),$$

где  $A_i$ ,  $\varepsilon_i$  – эмпирические константы, в частности при  $m_v=4 \dots 16 \text{ мс}^{-1}$

$$A_1=0,475; A_2=0,525; \varepsilon_1=0,023 \text{ с}^{-1}; \varepsilon_2=0,218 \text{ с}^{-1}.$$

Анализ спектральных плоскостей показывает, что случайный процесс скорости ветра  $V(t)_v$  имеет низкочастотный характер. Основные гармоники имеют частоты в пределах  $0 \dots 0,5 \text{ с}^{-1}$ . На гармонические составляющие с частотами более  $0,5 \text{ с}^{-1}$  приходится не более 10 % дисперсии процесса  $\sigma_v^2$ .

В технических расчетах максимальная устойчивая средняя скорость ветра принимается равной  $m_v=22 \text{ мс}^{-1}$  на высоте 3 м от поверхности грунта. Скорость ветра существенно зависит от высоты. При порывах скорость ветра может значительно возрасти. Максимальные расчетные величины средних скоростей ветра и их значения при порывах в зависимости от высоты от поверхности грунта приведены в табл. [5].

Данные таблицы показывают, что с ростом высоты скорость ветра значительно возрастает, что приводит к увеличению интенсивности развития особенно верховых лесных пожаров, скорости распространения огня и перемещения фронта пламени. Однако определить зависимость, в частности, скорости распространения фронта огня  $V_{\phi}$  от средней скорости ветра  $V_{\theta}$  ( $V_{\phi}=f(V_{\theta})$ ) аналитическими методами не удастся, в связи с тем, что влияние ряда факторов на эту зависимость (метеорологических условий, характеристик растительности, ее распределение по территории и др.) математически описать практически невозможно.

Таблица

Высота над поверхностью грунта, м	Максимальная средняя скорость ветра, $мс^{-1}$	Скорость ветра при порывах, $мс^{-1}$
0,5	18	15
1,0	19	18
3,0	22	22
5,0	23	24
7,0	24	26
10,0	25	28
15,0	27	30
20,0	28	32
25,0	29	34
30,0	29	35

Решение данной задачи может быть получено с учетом допустимых погрешностей статистическими методами. Анализ показывает, что зависимость  $V_{\phi}=f(V_{\psi})$  в общем случае имеет нелинейный характер, особенно при больших скоростях ветра. При этом искомая зависимость может быть представлена полиномом второй степени (параболой второго порядка):

$$y = ax^2 + bx + c \quad (7)$$

Полином (7) при различных значениях и знаках его параметров (a, b, c) позволяет описать различные виды нелинейных графических зависимостей.

Для решения задачи необходимо в процессе мониторинга произошедших лесных пожаров определить экспериментальные выборки случайных величин  $V_{\phi}$  и  $V_{\psi}$ :

$$(V_{\phi i}, V_{\psi i}), \quad (8)$$

$$i = 1, 2 \dots n.$$

Задача формулируется следующим образом. Необходимо на основе статистических выборок (8) методом наименьших квадратов определить параметры полинома второй степени (7) таким образом, чтобы он наглядным образом соответствовал полученной экспериментальной зависимости  $V_{\phi} = f(V_{\psi})$ . Задача решается при различных метеорологических условиях, видах растительности и ее характеристиках, распределении растительности на местности и др.

Для упрощения записей математических зависимостей обозначим:

$$V_{\phi} = y; \quad V_{\psi} = x. \quad (9)$$

Тогда искомая зависимость может быть представлена в виде (7). При решении задачи методом наименьших квадратов параметры (a, b, c) полинома (7) определяются, исходя из условия:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]^2 \rightarrow \min. \quad (10)$$

Таким образом, параметры (a, b, c) необходимо определить при условии обращения левой части выражения (10) в минимум. Для этого продифференцируем ее по параметрам (a, b, c) и приравняем производные к нулю:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]x_i^2 &= 0 \\ \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]x_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] &= 0.\end{aligned}\tag{11}$$

Раскрыв скобки, получим:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n x_i^2 y_i - a \sum_{i=1}^n x_i^4 - b \sum_{i=1}^n x_i^3 - c \sum_{i=1}^n x_i^2 &= 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i - a \sum_{i=1}^n x_i^3 - b \sum_{i=1}^n x_i^2 - c \sum_{i=1}^n x_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i^2 - b \sum_{i=1}^n x_i - c &= 0.\end{aligned}\tag{12}$$

Таким образом, параметры (a, b, c) рассматриваемого полинома второй степени находятся путем решения системы линейных алгебраических уравнений (12) и с учетом принятых обозначений (9) будет определена искомая зависимость скорости распространения фронта огня при лесном пожаре  $V_\phi$  и средней скорости ветра  $V_B$ :

$$V_\phi = aV_B^2 + bV_B + c.\tag{13}$$

Существенное влияние на распространение горения в вертикальном направлении оказывает конвективные явления, которые приводят к возникновению вертикальных тепловых потоков под зонами горения. При этом горючая паровая смесь будет подниматься вверх, образуя при ее горении вертикальный факел пламени, высота которого может достигать более 15...20 м [2]. Высота пламени  $L$  определяется количеством (объемом) и скоростью подъема горючей смеси в конвективном потоке, который образуется над зоной горения участка растительности, площадь которого имеет определяющий размер  $D$  (например, стороны квадрата, диаметра окружности).

В частности, эмпирическая зависимость, определяющая безразмерную (относительную) высоту факела пламени  $\frac{L}{D^{-1}}$  на основе обработки экспериментальных данных, полученных при горении кустарника на достаточно большой площади (325 га), имеет вид [2]:

$$\frac{L}{D} = 42 \left[ \frac{m}{\rho_r (gD)^{1/2}} \right]^{0.61}.\tag{14}$$

где  $m$  – скорость образования горючей смеси с единицы площади горения,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  
 $\rho_T$  – плотность горючей смеси,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ ;  
 $D$  – определяющий размер зоны горения, м.

Выражение (14) показывает, что высота факела пламени тем больше, чем больше скорость подъема и масса горючей смеси, образовавшейся с единицы площади зоны горения. Факелы пламени большой высоты могут приводить к возникновению верховых лесных пожаров.

В случаях, если количество лесных участков весьма велико, то случайность, связанная с состоянием каждого участка будет незначительно сказываться на состоянии всей системы. В теории вероятностей доказано [3], что согласно закону больших чисел количество элементов, находящихся в каком-либо состоянии близко к их математическим ожиданиям (средним значениям).

Анализ показывает, что рассматриваемые потоки событий обладают следующими свойствами [3].

- поток событий является ординарным, так как вероятность того, что в течение малого промежутка времени произойдут два или более событий, пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления одного события;

- поток событий является потоком без последствия, так как для любых неперекрывающихся промежутков времени число событий, попадающих на один из них, не зависит от числа событий, попадающих на другие промежутки времени.

Доказывается, что если поток событий ординарный и не имеет последствия, то число событий, попадающих на определенный промежуток времени, распределяется по закону Пуассона. В этом случае можно рассматривать переход из одного состояния в другое не каждого лесного участка, для их средних численностей [4]. Подобные задачи, могут решаться на основе метода динамики средних.

Переход элемента из одного состояния в другое определяется плотностью потока событий  $\mu$ , которая может быть постоянной (для простейшего потока) или переменной, зависящей от времени  $\mu(t)$ .

Схема возможных состояний рассматриваемой системы (лесных участков) показана на рис. 2. Средние численности элементов, находящихся в состояниях 1, 2, 3, в зависимости от времени  $m(t)_1$ ;  $m(t)_2$ ;  $m(t)_3$  определяются на основе дифференциальных уравнений, описывающих динамику рассматриваемой системы. Определим основные принципы вывода дифференциальных уравнений динамики средних.

Рассмотрим величину  $m(t)_2$  – среднее количество участков, находящихся к моменту времени  $t$  в состоянии 1 (горения) и определим, на сколько она изменится за малый промежуток времени  $\Delta t$ . Это изменение произойдет за счет двух процессов: уменьшение численности  $m(t)_1$  при прекращении горения некоторых участков и перехода в состояние 2 (тления), а также увеличения численности  $m(t)_1$  при зажигании смежных участков при действии на них тепловых потоков, исходящих от горящих участков.

Определим среднее количество участков, перешедших из состояния 1 в состояние 2. Вероятность такого перехода одного участка равна  $\mu(t)_1 \Delta t$ , а перехода среднего количества участков будет равна  $m(t)_1 \mu(t)_1 \Delta t$ . На основе аналогичных рассуждений может быть определено среднее количество участков, которое за время  $\Delta t$  увеличит численность участков, находящихся в состоянии 1, за счет вовлечения в процессы горения на величину  $m(t)_1 a(t) \mu(t)_{11} \Delta t$  смежных участков.



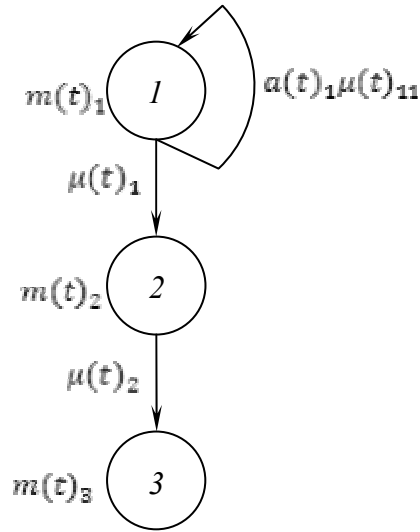


Рис. 2

Общее изменение величины  $m(t)_1$  за время  $\Delta t$  будет равно

$$\Delta m(t)_1 = m(t)_1 [a(t)\mu(t)_{11} - \mu(t)_1] \Delta t \quad (15)$$

Разделив обе части уравнения (15) на  $\Delta t$  и переходя к пределу, получим для величины  $m(t)_1$  дифференциальное уравнение

$$\frac{dm(t)_1}{dt} = m(t)_1 [a(t)\mu(t)_{11} - \mu(t)_1] \quad (16)$$

Аналогичным образом могут быть получены дифференциальные уравнения для численностей участков, находящихся в состояниях 2 и 3. Таким образом, динамика средних численностей участков, находящихся в трех состояниях, будет определяться системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dm(t)_1}{dt} &= m(t)_1 [a(t)\mu(t)_{11} - \mu(t)_1] \\ \frac{dm(t)_2}{dt} &= m(t)_1 \cdot \mu(t)_2 - m(t)_2 \mu(t)_2 \\ \frac{dm(t)_3}{dt} &= m(t)_2 \cdot \mu(t)_2. \end{aligned} \quad (17)$$

Плотности потоков событий, связанных с переходом лесного участка из одного состояния в другое, определяются на основе зависимостей

$$\mu(t)_1 = \frac{1}{\bar{t}_r}; \mu_2 = \frac{1}{\bar{t}_t}; \mu_{11} = \frac{1}{\bar{t}_{пр}},$$

где  $\bar{t}_r$ ;  $\bar{t}_t$ ;  $\bar{t}_{пр}$  – величины среднего времени процессов горения, тления и прогрева растительности лесного участка.

Плотности потоков событий могут зависеть от времени. При определении (задании) этих зависимостей необходимо учитывать изменения факторов, влияющих на скорость протекания этих процессов. Чем больше скорость процесса, тем больше составляющая плотность потока событий.

Коэффициент  $a(t)$  определяет количество смежных участков, которые зажигаются от одного горящего участка. При  $a(t) = 1$ , зажигается один смежный участок, при  $a(t) > 1$  – более одного, что приводит к увеличению интенсивности развития лесного пожара.

Следует отметить, что при тушении лесного пожара параметры, входящие в систему уравнений (17), будут существенно изменяться. Плотности потоков событий  $\mu(t)_1$  и  $\mu(t)_2$ , как правило, будут увеличиваться, а  $\mu(t)_{11}$  – уменьшаться. Параметр  $a(t)$  может принимать значение меньше единицы.

Система дифференциальных уравнений вида (17) является нелинейной. Поэтому получить ее аналитическое решение в конечном виде, как правило, не удастся. Однако эта система уравнений может быть решена на компьютере какого-либо дискретного метода интегрирования.

На основе решения системы дифференциальных уравнений (17) могут быть определены средние численности и площади лесных участков, находящихся в состоянии горения, тления или в потушенном состоянии в любые моменты времени, получены при известных размерах лесных участков количественные оценки параметров процесса распространения лесного пожара и фронта огня (площади, средние скорости, направления, геометрические характеристики районов пожара).

Полученные данные позволяют обоснованно подходить к проведению противопожарных профилактических мероприятий в лесных массивах, прогнозировать развитие лесных пожаров, разрабатывать планы их тушения, размещения и использования пожарнотехнических средств.

### Литература

1. Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.В. Физические модели горения в системе пожарной безопасности. СПб.: Политехнический университет, 2009. 347 с.
2. Комов В.Ф., Гришин В.В., Шевяков Г.Г. Моделирование открытых пожаров. М.: Стройиздат, 1969. 18 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: Наука, 1969. 576 с.
4. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М.: Советское радио, 1964. 388 с.
5. Надежность и эффективность в технике / под ред. В.А. Кузнецова. Т. 10. М.: Машиностроение, 1990. 330 с.

# **ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СПАСАТЕЛЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

**А.И. Потапов, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ;**

**И.А. Потапов, кандидат технических наук;**

**Б.В. Самойлов.**

**Северо-Западный государственный заочный технический университет  
Санкт-Петербург**

Рассмотрены требования к мониторным комплексам дистанционного наблюдения за спасателями (пожарными) и выбор элементной базы для их создания. Рассмотрены датчики съема физиологических сигналов для оценки функционального состояния спасателя, резервов организма при огромных физических и эмоциональных нагрузках.

*Ключевые слова:* физиологические сигналы, функциональное состояние, датчики физической активности, датчики контроля внешней среды

## **DEVICES AND MONITORING SYSTEMS AND MONITORING OF A PHYSIOLOGICAL CONDITION OF THE RESCUER AT EXTREME SITUATIONS**

A.I. Potapov; I.A. Potapov; B.V. Samoilov.

Saint-Petersburg North-west state Technical university

Requirements to monitor complexes are considered. Remote supervision over rescuers (firemen) and a choice of element base for their creation. Are considered gauges for съема physiological signals. The medical information removed from these gauges, is a basis for an estimation of a functional condition of the rescuer, reserves of an organism at huge physical and emotional loadings. Gauges of the control of spatial position and physical activity of the rescuer., the analysis of modern methods and characteristics of wireless means of transfer of the information removed from rescuers (firemen) is lead(carried out) to control centre of salvage operations in real time.

*Key words:* physiological signals, a functional condition, gauges of physical activity, gauges of the control of an environment

Как показывает статистика, количество чрезвычайных ситуаций, связанных с техногенными катастрофами, пожарами, природными катаклизмами с каждым годом увеличивается. По оценкам специалистов в ближайшие годы положение будет только ухудшаться. Это потребует увеличения количества сотрудников МЧС, пожарных, спасателей. Но дело не только в количестве, но и в профессиональной подготовке указанных сотрудников, что требует вложения огромных средств. Поэтому становится актуальной задача эффективного использования сотрудников МЧС при выполнении спасательных работ, контроля за их физическим и психоэмоциональным состоянием, здоровьем. Эта ситуация касается практически всех лиц, относящихся по роду своей деятельности к группам повышенного риска. Одним из путей решения этой задачи является использование

мониторных систем для непрерывного наблюдения за лицами групп повышенного риска во время выполнения ими своих функциональных обязанностей.

Бурное развитие мониторных систем непрерывного наблюдения за человеком в первую очередь связано с революционными техническими достижениями в области спутниковых систем позиционирования, достижений беспроводных технологий передачи данных, создания миниатюрных датчиков различного назначения.

Применение систем мониторинга и дистанционного контроля в реальном времени за функциональным состоянием лиц, относящихся по роду своей деятельности к группам повышенного риска, позволит существенно повысить эффективность их работы, контролировать динамику изменения функционального состояния конкретных лиц с целью его восстановления.

В Федеральном законе об аварийно-спасательной службе и статусе спасателей, действующем в РФ, других документах [1, 2] сформулированы понятия, дающие представления о задачах и направлениях исследований при разработке комплекса мониторинга и дистанционного контроля местонахождения и функционального состояния лиц, относящихся к группам повышенного риска.

Системы мониторинга и дистанционного контроля за жизненно важными физиологическими функциями человека являются составной частью одного из направлений телемедицины, которая в последние годы бурно развивается как в интересах решения задач традиционной медицины, так и специальных задач контроля за функциональным состоянием лиц, относящимся по роду своей деятельности к группам повышенного риска. К таким группам лиц повышенного риска относятся пожарные, спасатели МЧС и др. [3].

Вооруженные силы США являются мировым лидером в области телемедицинских технологий и исследований для использования в специальных целях. Одним из направлений использования последних достижений техники и медицины является создание личного монитора солдата. Личный монитор солдата является частью его боевой экипировки и представляет собой миниатюрное устройство, состоящее из датчиков внешней среды, физиологических сенсоров с процессором, геопозиционного приемника и радиоканала. Этот монитор может регистрировать и передавать на расстояние жизненно важные показатели солдата непрерывно или по запросу оператора. Монитор автоматически подает сигналы, если жизненные показатели солдата отклоняются от нормы и индивидуально запрограммированных порогов.

Ряд фирм США разработали готовые модули, позволяющие контролировать пространственное положение человека на цифровой карте местности. Так, фирма Honeywell выпускает модули DRM5 и DRM4000, имеющие следующие характеристики

#### SPECIFICATIONS:

- Horizontal Position Accuracy 1 % to 2 % of distance traveled from last fix;
- Compass Azimuth Accuracy 1° RMS, 0,1° resolution;
- Vertical Position Accuracy 1,5 meters RMS;
- GPS receiver 16-channel, C/A code;
- Mechanical dimensions 3,4" x 2" x 0,6";
- Weight \* 1,5 Ounces;
- Temperature Range -40° to +85° C;
- Power <1 watt;
- Standard Battery Li-Ion 2 cell, 8 hr. run time.

Внешний вид модуля в закрытом и открытом виде показан на рис. 1 и 2.



Рис. 1

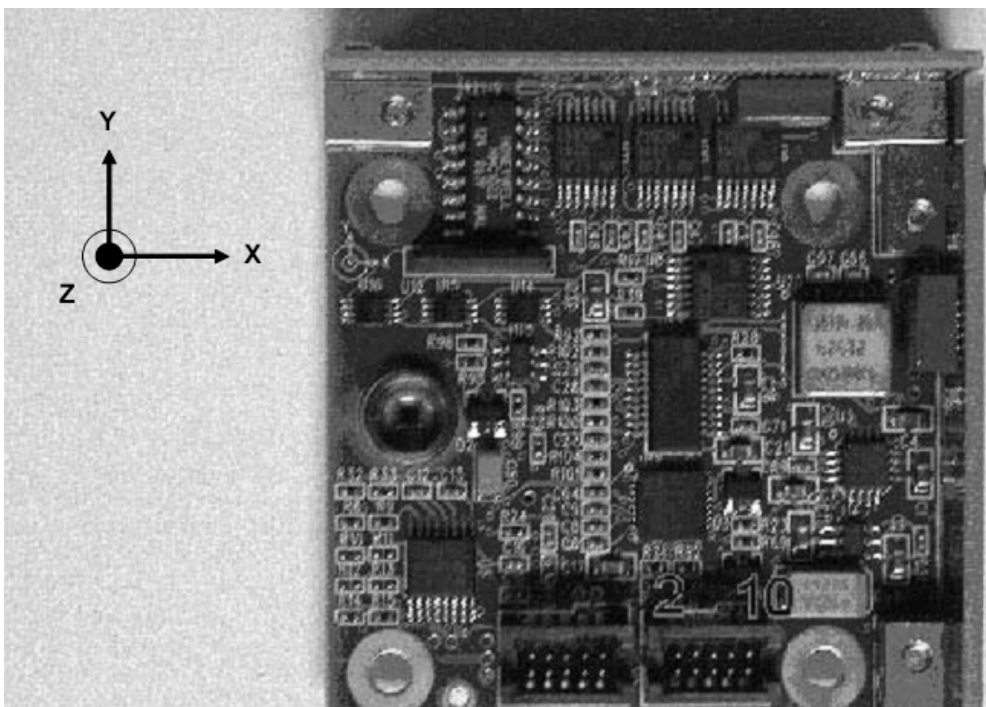


Рис. 2

### **Функциональные и технические требования к комплексу мониторинга**

Технические средства мониторингового комплекса должны обеспечивать решение следующих задач:

- контроль в реальном времени за действиями спасателей в различных ситуациях (пожары, техногенные катастрофы на промышленных объектах, шахтах, техногенные катастрофы на открытом пространстве, спасение людей в результате природных катаклизмов и др.);
- управление работой спасателей с помощью голосовой информации, передаваемой по беспроводным каналам связи;
- контроль в реальном времени за функциональным состоянием спасателей, в том числе и для оказания экстренной медицинской помощи;

- контроль в реальном времени за параметрами окружающей среды, в которой действуют спасатели (температура, газовый состав, видимость);
- контроль в реальном времени за окружающей обстановкой с помощью ТВ аппаратуры;

- передача всей получаемой от технических средств, установленных на спасателях, информации в Центр управления спасательными работами по беспроводным каналам связи.

Комплекс мониторинга должен состоять из:

- блока съема, анализа и передачи информации (индивидуальный монитор спасателя). Указанный блок предназначен для съема со спасателя физиологических сигналов, позволяющих оценивать его функциональное состояние, сигналов с датчиков, контролирующих пространственное положение и физическую активность спасателя, и сигналов с датчиков контроля и анализа окружающей среды. Их преобразования, запоминания, анализа и передачи в Центр управления спасательными работами;

- блока приема, отображения и передачи информации, предназначенного для приема информации, передаваемой индивидуальными мониторами спасателей; для отображения принимаемой информации на дисплеях центра, ее запоминания, обработки и анализа; для передачи сигналов управления на индивидуальные мониторы спасателей.

Индивидуальный монитор спасателя включает в себя:

- датчики для съема, усиления и преобразования физиологических сигналов (электрокардиосигнал, частота пульса, частота дыхания, артериальное давление, пульсовая волна, температура тела);

- датчики для съема пространственного положения человека и его физической активности (акселерометры, датчики пространственного положения человека относительно магнитного поля Земли, датчики положения тела человека в трехмерном пространстве);

- датчики съема параметров окружающей среды (температура, газовый состав воздуха, уровень радиоактивного излучения);

- телевизионную камеру видимого и инфракрасных спектров излучения;

- датчик геопозиционного положения человека (модуль GPS);

- беспроводной канал передачи и приема информации.

При разработке комплекса технических средств должны быть рассмотрены и решены следующие технические и медико-биологические задачи.

Технические аспекты:

- разработка и обоснование тактико-технических характеристик индивидуальных мониторов спасателя, используемых для разных видов спасательных работ;

- рациональный выбор датчиков для решения указанных выше задач;

- оценка возможности использования приборов геопозиционного определения местонахождения спасателей при работе не на открытой местности;

- оценка возможности использования мобильной сети спутниковой, сотовой, радиорелейной и другого вида связи для передачи информации с индивидуальных мониторов в центр управления;

- разработка, изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов малогабаритных носимых индивидуальных мониторов спасателей;

- подготовка производства для выпуска серийных образцов мониторингового комплекса.

Медицинские аспекты:

- выбор конкретных методик оценки функционального состояния спасателя, реализация которых возможна с помощью индивидуальных мониторов, приемлемых по цене, удобству эксплуатации, надежности и другим параметрам;

- выбор датчиков физиологических сигналов для контроля за функциональным состоянием спасателей (пожарных);

- проведение клинических испытаний выбранных методик оценки функционального состояния спасателя.

### **Литература**

1. Запорожец А.И., Одинцов Л.Г. Разработка технических средств для ведения аварийно-спасательных работ // Пожарная безопасность. 2004.
2. Потапов А.И., Самойлов Б.В., Потапов И.А. Технические и аппаратно-программные средства телемедицины: науч. и уч.-метод. справ. пособ. СПб., 2005. 451 с.
3. Микрокомпьютерные медицинские системы / под ред. У. Томпкинса и Дж. Уэбстера М.: Мир, 1983.



---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

## РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ИОНОСФЕРНО- МАГНИТОСФЕРНОГО АЛЬВЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

**А.О. Овчинников, доктор физико-математических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Исследуется спектр собственных частот ионосферно-магнитосферного альвеновского резонатора (ИМАР) методами теории возмущений. Учет первой поправки в уравнении Риккати для сферического импеданса альвеновской волны приводит как к качественной, так и к количественной трансформации спектра. Кроме резонансных частот возникают узкие полосы прозрачности (шириной до одной десятой доли герца). Таким образом, кроме дискретного спектра у ИМАР появляется непрерывный спектр. Оценены добротности мод ИМАР.

*Ключевые слова:* альвеновский резонатор, ионосфера, магнитосфера, собственные частоты, уравнение Риккати, дискретный спектр, непрерывный спектр

## CALCULATION OF EIGENFREQUENCIES OF IONOSPHERIC- MAGNETOSPHERIC ALFVEN RESONATOR BY THE METHODS OF PERTURBATION THEORY

A.O. Ovchinnikov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Important tool in the emergency indication of various types, such as volcanic eruptions, earthquakes, industrial explosions; space, surface and underground nuclear explosions, the signals from the missile launches and emerging the flight of missiles from the engine is ionospheric-magnetospheric Alfven resonator (IMAR). This object is currently poorly understood. In this paper, we continue to develop the physical and mathematical theory of IMAR.

We study the spectrum of eigenfrequencies of ionospheric-magnetospheric Alfven resonator (IMAR) by the methods of perturbation theory. Allowance is the first correction to the solution of the Riccati equation for the impedance of the spherical Alfven waves. That leads us to both qualitative and quantitative transformation of the spectrum. In addition to the resonance frequencies occur in narrow bands of transparency (up to a width of one tenth of a hertz). Thus, except for a discrete spectrum for IMAR appears continuous spectrum. We also estimated the quality of IMAR modes.

*Key words:* alfven resonator, ionosphere, magnetosphere, eigenfrequencies, Riccati equation, discrete spectrum, continuous spectrum



Важным инструментом в индикации чрезвычайных ситуаций различного типа, таких как извержения вулканов, землетрясения, промышленные взрывы, космические, наземные и подземные ядерные взрывы, сигналы от стартов ракет и сигналы, возникающие при полете ракет с включенными двигателями, является ионосферно-магнитосферный альвеновский резонатор [1]. Этот объект в настоящее время мало изучен.

Ранее [2–5] автор рассматривал модель геомагнитного поля, более близкую к реальности по сравнению с работами [5–8], в которых изучалась плоскостная модель ионосферы, а угол наклона силовой линии геомагнитного поля полагался постоянным.

В моделях [2–4] силовые линии поля качественно правильно описывали поведение реальных силовых линий, но недостаточно точно описывались многие свойства этих линий, например, длину, густоту и т.п. В настоящей публикации более правильно и корректно рассмотрен именно случай дипольного геомагнитного поля.

### Постановка задачи

Рассмотрим магнитное поле Земли в дипольном приближении:

$$\vec{B}_g = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3\vec{n}(\vec{M} \cdot \vec{n}) - \vec{M}}{r^3}$$

где  $r$  – расстояние от центра диполя до точки наблюдения;  $\vec{n}$  – единичный вектор в направлении на точку наблюдения;  $M = 8,19 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$  – магнитный момент диполя;  $\mu_0$  – магнитная постоянная. Если ось  $z$  направлена в местный зенит, и ось  $x$  лежит в плоскости магнитного меридиана и направлена в сторону юга:

$$B_x = -\frac{\mu_0 M}{4 \cdot \pi \cdot r^3} \cos \phi,$$

$$B_z = -\frac{\mu_0 M}{4 \cdot \pi \cdot r^3} 2 \sin \phi,$$

где  $\phi$  – геомагнитная широта. Введем сферическую систему координат  $(r, \theta, \phi)$  с центром, расположенным в центре Земли, а угол  $\theta$  отсчитывается от направления оси, соединяющей южный и северный магнитные полюса, в результате получим:

$$\frac{B_x}{B_z} = \frac{B_\theta}{B_r} = \frac{\cos \phi}{2 \sin \phi} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \theta. \quad (1)$$

В публикациях [2–4] для поля дипольного типа полагали:

$$\frac{B_\theta}{B_r} = \operatorname{tg} \theta.$$

Это существенно упрощало вычисления, но не позволяло получить более правильные численные результаты. В настоящей работе проведен анализ на основе формулы (1).

Опишем распространение гидромагнитных волн в ионосфере и магнитосфере (околоземном космическом пространстве), используя систему уравнений Максвелла для временных спектральных компонент, принимая зависимость от времени в форме  $\exp(-i\omega t)$ , тогда

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = i\omega \mu_0 \mathbf{H},$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \sigma_{11}\mathbf{E}_{11} + \sigma_{\perp}\mathbf{E}_{\perp} + \sigma_H(\mathbf{E}_{\perp} \times \mathbf{h}), \quad (2)$$

где  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  электромагнитные поля волны;  $\mathbf{h}$  – единичный вектор в направлении геомагнитного поля,  $\mathbf{E}_{11}$  и  $\mathbf{E}_{\perp}$  компоненты электрического поля волны параллельные и перпендикулярные по отношению  $\mathbf{h}$ ;  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{\perp}$ , и  $\sigma_H$  – компоненты тензора проводимости плазмы.

Будем рассматривать низкочастотный диапазон  $f=(0,01 - 10)$  Гц. В этом диапазоне мы считаем, что  $|\sigma_{11}| \rightarrow \infty$ ,  $\mathbf{E}_{11}=0$  ( $\sigma_{11}\mathbf{E}_{11} \neq 0$ ). Таким образом,  $\mathbf{E}_r = -(\mathbf{E}_{\theta}h_{\theta} + \mathbf{E}_{\varphi}h_{\varphi})/h_r$  в сферической системе координат  $(r, \theta, \varphi)$ .

Полагаем, что свойства среды, так же как и свойства полей не зависят от угла  $\varphi$ , распространение происходит в плоскости геомагнитного меридиана,  $\partial/\partial\varphi=0$ ,  $h_{\varphi}=0$ . Чтобы сделать решение этой проблемы более наглядной именно в том аспекте, который для нас наиболее интересен – развитие концепции ИМАР, будем пренебрегать величиной компоненты тензора проводимости  $\sigma_H$ . Взаимодействие мод волновода и резонатора, возникающее на гиротропном  $\mathbf{E}$ -слое ионосферы, было ранее проанализировано в монографии [8]. Там было показано, что это взаимодействие экспоненциально мало. Поле моды БМЗ-волновода сосредоточено (max-поля) в области F2 и выше. При этом слой  $\mathbf{E}$ , особенно в ночных условиях, мало влияет на свойства этой моды, и в первом, и даже во втором приближении его можно не учитывать. Можно ввести, конечно, коэффициент слабой связи между модами ИМАР и БМЗ-волновода, но влияние при этом на свойства мод ИМАР будет мало.

Тогда систему уравнений (2) можно записать в форме:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{E}_{\varphi}}{\partial r} &= -i\omega \tilde{B}_{\varphi}, \\ \frac{\partial \tilde{B}_{\theta}}{\partial r} &= \frac{k^2}{i\omega} \tilde{E}_{\varphi} + \frac{1}{i\omega r^2} \left( \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial (\tilde{E}_{\varphi} \sin \theta)}{\partial \theta} \right), \\ \frac{\partial \tilde{E}_{\theta}}{\partial r} &= -\frac{\partial (h_{\theta} / h_r)}{r \partial \theta} \tilde{E}_{\theta} - \frac{1}{r} \frac{h_{\theta}}{h_r} \frac{\partial \tilde{E}_{\theta}}{\partial \theta} + i\omega \tilde{B}_{\varphi}, \\ -\frac{\partial \tilde{B}_{\theta}}{\partial r} &= \frac{k^2}{i\omega h_r^2} \tilde{E}_{\theta} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{h_{\theta}}{h_r} \frac{\partial (\tilde{B}_{\varphi} \sin \theta)}{\partial \theta}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь введены следующие обозначения:  $\tilde{E}_{\theta} = rE_{\theta}$ ,  $\tilde{B}_{\varphi} = rB_{\varphi}$ ,  $k^2 = i\omega\mu_0\sigma_{\perp}$ ,  $k$  – волновое число среды. Уравнения (3), соответствующие поляризации  $(\tilde{E}_{\varphi}, \tilde{B}_{\theta})$ , описывают распространение быстрой магнитозвуковой волны. Именно влияние сферичности на распространение этой волны в ионосферном МГД-волноводе было проанализировано в публикации [9].

Решение системы уравнений (3), которое описывает распространение волны Альвена, имеющей поляризацию  $(\tilde{E}_{\theta}, \tilde{B}_{\varphi})$ , и является предметом настоящей работы.

### Решение задачи

Введем модифицированный сферический импеданс для альвеновской волны в соответствии с формулой

$$\tilde{U}(r, \theta) \cos \theta = \frac{i}{\omega L} \frac{\tilde{E}_\theta(r, \theta)}{\tilde{B}_\phi(r, \theta)},$$

здесь  $L$  – константа, имеющая размерность длины. Будем предполагать в дальнейшем, что  $\sigma_\perp$  зависит только от координаты  $r$  и не зависит от координаты  $\theta$ . Далее после некоторых преобразований, в частности, используя тождество  $\frac{dU}{dh} = (\vec{h} \cdot \nabla)U$ , получим для волн рассматриваемой поляризации, вместо (3), одномерное уравнение вдоль силовой линии геомагнитного поля для определения импеданса:

$$\frac{d\tilde{U}}{\beta dh} = 1 + \frac{\tilde{U}^2 k^2}{\beta^2}, \quad (4)$$

где  $h$  – координата вдоль силовой линии геомагнитного поля, отсчитываемая от поверхности Земли,  $\beta = \cos \alpha / \cos \theta$ ;  $\alpha$  – угол, который составляет силовая линия геомагнитного поля по отношению к вертикали (радиальному направлению).

Практически во всех теоретических работах изучающих ионосферный альвеновский резонатор (ИАР) [6, 7] этот угол считается постоянным. В настоящей работе рассмотрим существенно более реалистическую модель геомагнитного поля (1) полагая

$$h_\theta / h_r = \tan \alpha = \frac{1}{2} \tan \theta.$$

$$u \neq \text{const.}$$

### Решение в случае конечного радиуса Земли

Сделаем замену переменных в уравнении (4), полагая  $U = \tilde{U} / \beta$ , тогда имеем:

$$\frac{dU}{dh} + U \frac{d \ln \beta}{dh} - U^2 k^2 - 1 = 0 \quad (5)$$

Построим решение, основываясь на уравнении (5). В общем случае, например, если величина  $k(h)$  или  $\sigma_\perp(h)$  заданы в форме таблицы, уравнение (5) может быть решено численно. Тем не менее, аналитическое исследование решений этого уравнения представляет несомненный интерес. Для выполнения этого исследования рассмотрим модель среды, включающую в себя следующие элементы: бесконечно проводящую поверхность Земли ( $r=a$ ); анизотропный слой с комплексным волновым числом  $k=\text{const}$ , учитывающим джоулевы потери, расположенный в области  $a \leq r \leq b$  ( $b-a=l$ ) (ионосфера); анизотропное пространство, без джоулевых потерь, с волновым числом  $k_I=\text{const}$  заполняющее область  $r \geq b$  (магнитосфера).

### Асимптотическое решение уравнения для импеданса

Рассмотрим асимптотическое разложение решения уравнения (5) по параметру  $1/a$  при  $a \rightarrow \infty$ ,  $\frac{d \ln \beta}{dh} \rightarrow 0$  и в главном приближении уравнение (5) принимает вид:

$$\frac{\partial U}{\partial h} - U^2 k^2 - 1 = 0 \quad (6)$$

Исследуем решения этого уравнения для модели среды описанной выше, аналогично тому, как это было сделано в работе [4]. Тогда учитывая, что  $U(a) = 0$  имеем:

$$U_{(0)}^I(h) = k^{-1} \tan kh, \quad a \leq r \leq b, \quad \theta_a \leq \theta \leq \theta_b. \text{ Область I,}$$

$$U_{(0)}^{II}(h) = k_1^{-1} \tan(k_1(h - 2h_0 - h_1)), \quad a \leq r \leq b, \quad \pi - \theta_b \leq \theta \leq \pi - \theta_a. \text{ Область II,} \quad (7)$$

$$U_{(0)}^{III}(h) = k^{-1} \tan(k_1(h - h_2)), \quad r \geq b. \text{ Область III.} \quad (8)$$

где  $h_2$  – постоянная определяемая из граничных условий;  $\theta_a$  и  $\theta_b$  – координаты пересечения силовой линии поля окружностей радиусами  $r = a$  и  $r = b$ ;  $h_0$  – длина отрезка силовой линии геомагнитного поля в ионосфере;  $h_1$  – длина части силовой линии расположенная в магнитосфере ( $\theta_b \leq \theta \leq \pi - \theta_b$ ). При расчетах будем полагать:  $a=6400$  км,  $b=7000$  км. Нетрудно показать, что для выбранной модели геомагнитного поля уравнение силовой линии, проходящей через точку с координатами  $(a, \theta_a)$ , имеет вид  $r = a (\sin \theta)^2 / (\sin \theta_a)^2$ . Предыдущая, более простая модель [4], давала зависимость  $r = a \sin \theta / \sin \theta_a$ . Координата  $h$  вдоль силовой линии геомагнитного поля в рассматриваемом случае определяется по формуле:

$$h(\theta) = \frac{a}{2 \sin^2 \theta_a} (\cos \theta_a \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta_a} - \cos \theta \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta} + \frac{1}{\sqrt{3}} (a \sinh(\sqrt{3} \cos \theta_a) - a \sinh(\sqrt{3} \cos \theta))).$$

Сравним для предыдущей модели  $h(\theta) = \frac{a(\theta - \theta_a)}{\sin \theta_a}$ , что существенно упрощало

решение задачи. Удовлетворяя граничным условиям при  $\theta = \theta_b$  ( $h = h_0$ ) и  $\theta = \pi - \theta_b$  ( $h = h_0 + h_1$ ), из уравнений (7) и (8) получим:

$$\begin{aligned} k_1 \tan(kh_0) &= k \tan(k_1(h_0 - h_2)), \\ k \tan(k_1(h_0 + h_1 - h_2)) &= -k_1 \tan(kh_0). \end{aligned} \quad (9)$$

Из уравнений (9) найдем дисперсионное уравнение для собственных частот ионосферно-магнитосферного альвеновского резонатора (ИМАР) в форме

$$M \sin\left(\frac{\omega}{c_{AI}} h_1\right) \cos^2\left(\frac{\omega}{c_A} h_0\right) + \sqrt{M} \sin\left(2 \frac{\omega}{c_A} h_0\right) \times \cos\left(\frac{\omega}{c_{AI}} h_1\right) - \sin^2\left(\frac{\omega}{c_A} h_0\right) \sin\left(\frac{\omega}{c_{AI}} h_1\right) = 0. \quad (10)$$

Здесь  $c_{AI} = \omega/k_I$  – альвеновская скорость в магнитосфере;  $c_A = \omega/k$  – альвеновская скорость в ионосфере. Решения уравнений (7), (8), (10) – будут приняты нами в качестве исходного приближения.

Очевидно, что при  $|M| \rightarrow \infty$  уравнение (10) имеет две независимых серии корней. Первая находится из уравнения  $\sin\left(\frac{\omega}{c_{AI}} h_1\right) = 0$  и определяет собственные частоты магнитосферного альвеновского резонатора (МАР), корни второй серии являются двукратно

вырожденными и определяются из уравнения  $\cos^2(\frac{\omega}{c_A}h_0)=0$ . Эти корни соответствуют спектру собственных частот ИАР. При конечном значении параметра  $|M|$  (обычно  $\sim 100 - 200$ ) вырождение снимается, и частоты расщепляются. При этом более корректно рассматривать единый объект ИМАР, и определять его собственные частоты, решая уравнение (10) численно.

Следующее приближение решения нелинейного уравнения Рикатти (5) в тех характерных областях можно построить, формально разложая это решение по параметру,  $\varepsilon$  вводимому в соответствии с формулой  $\alpha(h)=\varepsilon \frac{d \ln \beta}{dh}$ .

Тогда, собирая члены одинаковыми степенями  $\varepsilon$ , с точностью до поправок первого приближения имеем:

$$\varepsilon^0 : U'_{(0)} - k^2 U_{(0)}^2 - 1 = 0, \quad (11)$$

$$\varepsilon^1 : U'_{(1)} + \alpha(h)U_{(0)} - 2k^2 U_{(0)}U_{(1)} = 0. \quad (12)$$

$$\text{Здесь } \alpha(h) = \frac{d \ln \beta}{dh}.$$

Очевидно (11) совпадает с (6), а решение (12) может быть найдено по формуле:

$$U_{(1)} = e^{-F} (U_{(1)0} + \int_{h_0}^h g(x) e^F dx), \quad F(h) = \int_{h_0}^h f(x) dx, \quad f(h) = -2k^2 U_{(0)}, \quad g(h) = -\alpha U_{(0)}$$

Решение проходит через точку  $(h_0, U_I(h_0))$ . В трех характерных областях для поправок первого приближения получим:

$$U_{(1)}^I = -\frac{1}{2k \cos^2(kh)} \int_0^h \alpha(x) \sin 2kx dx, \quad a \leq r \leq b, \theta_a \leq \theta \leq \theta_b,$$

$$U_{(1)}^{II} = -\frac{1}{\cos^2(k_1(h-h_4) + \frac{n\pi}{2})} \left( \cos^2\left(k_1 h_1 / 2 + \frac{n\pi}{2}\right) U_1^I(h_0) - \frac{1}{2k_1} \int_{h_0}^h \alpha(x) \sin\left(2k_1(x-h_4) + \frac{n\pi}{2}\right) dx \right),$$

$$b \leq r, \theta_b \leq \theta \leq \pi - \theta_b,$$

$$U_{(1)}^{III} = -\frac{1}{2k \cos^2(k(h-h_2))} \int_{h_2}^h \alpha(x) \sin 2k(x-h_2) dx, \quad a \leq r \leq b, \pi - \theta_b \leq \theta \leq \pi - \theta_a,$$

Здесь  $n=0, 1$ ;  $h_2=2h_0+h_1$ ,  $h_4= h_2/2$ . Потребовав непрерывности модифицированного импеданса  $U(h, \omega) = U_{(0)}(h, \omega) + U_{(1)}(h, \omega)$  на границах сферических слоев, получим дисперсионное уравнение (два уравнения) для определения собственных частот ИМАР. Эти уравнения, при переходе от интегрирования по  $h$  к интегрированию по  $\theta$ , имеют вид:

$$\begin{aligned}
D_0(\omega) = & 2\sqrt{M} \cos^2(k(\omega)h_0) \cos^2(k_1(\omega)h_1/2) - \\
& - \frac{3}{2}\sqrt{M} \cos^2(k(\omega)h_0) \int_{\theta_b}^{\pi-\theta_b} \sin(2\theta) \frac{\sin(2k_1(\omega)(h(\theta)-h_0-h_1/2))}{1+3\cos^2(\theta)} d\theta + \\
& + \frac{1}{2} \sin(k_1(\omega)h_0) \sin 2k(\omega)h_0 - \\
& - \frac{3}{2} \cos^2(k_1(\omega)h_1/2) \int_{\theta_a}^{\theta_b} \sin(2\theta) \frac{\sin(2k(\omega)(h(\theta)))}{1+3\cos^2(\theta)} d\theta = 0, n = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_1(\omega) = & \sqrt{M} \cos^2(k(\omega)h_0) \sin(k_1(\omega)h_1) + \\
& + \frac{3}{2}\sqrt{M} \cos^2(k(\omega)h_0) \int_{\theta_b}^{\pi-\theta_b} \sin(2\theta) \frac{\sin(2k_1(\omega)(h(\theta)-h_0-h_1/2))}{1+3\cos^2(\theta)} d\theta + \\
& + \cos^2(k_1(\omega)h_0/2) \sin 2k(\omega)h_0 - \\
& - \frac{3}{2} \cos^2(k_1(\omega)h_1/2) \int_{\theta_a}^{\theta_b} \sin(2\theta) \frac{\sin(2k(\omega)(h(\theta)))}{1+3\cos^2(\theta)} d\theta = 0, n = 1
\end{aligned}$$

$$D(\omega) = D_0(\omega)D_1(\omega) = 0. \quad (13)$$

### Исследование решений дисперсионных уравнений

Комплексное трансцендентное дисперсионное уравнение (21) решалось методом Ньютона для характерных параметров задачи, соответствующих условиям ночной ионосферы. Эти параметры выбраны следующим образом  $c_{A1} = 5160$  км/с,  $M = 144(1 + i\nu_{in}/\omega)$ , где  $M = k^2/k_1^2 = c_{A1}^2/c_A^2$  – большой параметр ( $|M| \gg 1$ ),  $\nu_{in} = 0,03\text{с}^{-1}$  (некоторая средняя эффективная частота соударений ион – нейтрал в ионосфере),  $\theta_a = 60^\circ$  (магнитная широта  $40^\circ$ ). Мы выбрали случай средних и низких широт, так как именно здесь концепция ИМАР работает наиболее эффективно [10]. Результаты вычислений сведены в таблицу:

Таблица

Номер резонанса	Резонансные частоты Гц, $\theta_a=60^\circ$					
n	ИМАР +	МАР	ИМАР	ИАР	Примечание	Добротности мод $Q_n$
1	0,00387					1,2
2, первая полоса прозрачности	0,114 – 0,148		0,125 0,138	0,129	$\varepsilon \sim 3 \%$	$\sim 30$
3	0,296	0,329	0,315		$\varepsilon=-6,0 \%$	270
4, вторая полоса прозрачности	[0,349 – 0,411]		0,386 0,405	0,387	$\varepsilon \sim -3 \%$	$\sim 90$
6, третья полоса прозрачности	[0,612 – 0,647]		0,615 0,646	0,646	$\varepsilon \sim \pm 0,5 \%$	140 – 240
7	0,685	0,659	0,689		$\varepsilon=-0,6 \%$	270
8, четвертая полоса прозрачности	[0,891 – 0,986]	0,987	0,891 0,907 0,996	0,905	$\varepsilon \sim \pm 1,5 \%$	150 – 960

При учете первой поправки резонансные частоты начинают сгущаться в полосы, границы которых показаны в таблице. Здесь же приведены частоты ИМАР, рассчитанные при аналогичных условиях в соответствии с уравнением (12), а также частоты ИАР и МАР, полученные из (12) при  $M \rightarrow \infty$ . Эти результаты сопоставлены с расчетами резонансных частот ИМАР+ – резонатора с добавленными поправками от теории возмущений. В таблице приведены также добротности мод и относительный сдвиг резонансных частот при переходе от ИМАР к ИМАР+.

### Выводы

1. Методами теории возмущений показано, что сдвиг резонансных частот в уточненной модели может достигать заметной величины.
2. Спектр изменяется не только количественно, но и качественно.
3. Появляются узкие полосы прозрачности, что эквивалентно формированию сплошного спектра ИМАР наряду с наличием дискретного.
4. Полученные результаты могут быть отправным пунктом для численного решения задачи о нахождении резонансных частот ИМАР при сферически слоистой модели околоземного космического пространства.

### Литература

1. Артамонов В.С., Овчинников А.О., Шилин К.Ю. Применение гидромагнитной диагностики к решению фундаментальной проблемы индикации и предсказаний ЧС // материалы II Междунар. науч.-практ. конф.: Сервис безопасности в России, 29–31 окт. 2009 г. Т.1. СПб., 2009. С. 92–95.
2. Ovchinnikov A.O. The joined theory of the ionospheric and the magnetospheric Alfvén resonators. XXV th GA URSI. Abstracts. Lille. France. 1996. p. 647.
3. Ovchinnikov A.O. Ionospheric-magnetospheric Alfvén resonator (IMAR). AMEREM 2002. International symposium. Abstracts. Annapolis. Maryland. USA, 2002. P. 46.
4. Овчинников А.О. Ионосферный альвеновский резонатор в случае сферической модели поверхности Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 1999. Т. 39. № 1. С. 67–71.
5. Поляков С.В., Раппопорт В.О. Ионосферный альвеновский резонатор // Геомагнетизм и аэрономия. 1981. Т. 21. № 5. С. 816–822.
6. Руденко Г.В. Численное исследование альвеновского резонатора в ионосфере // Изв. вузов. Сер.: Радиофизика. 1990. Т. 33. № 2. С. 155–163.

7. Prikner K., Vagner V. The ionosphere as an Alfvén resonator in the Pc 1 micropulsation range // *Studia geop. Et geod.* Vol. 34. 1990. P. 342–361.
8. Овчинников А.О., Островский В.Н. Теория ионосферного МГД-волновода. СПб., 1992. 188 с.
9. Овчинников А.О. Сферический ионосферный МГД-волновод // *Изв. вузов. Сер.: Радиофизика.* 1991. Т. 34. № 8. С. 863–871.
10. Bosinger T., Demekhov A.G., Trakhtengerts V.Y. Fine structure in ionospheric/magnetospheric Alfvén resonator spectra at low latitudes // *Geophys. Res. Lett.* Vol. 31, L 18802, doi: 10.1029/2004 GL020777, 2004.

## **О НАЧАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ**

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ;**

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

**О.М. Медведева.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Исследована проблема оценки надежности автозаправочных станций (АЗС) в части пожарной и промышленной безопасности, заключающейся в довольно существенной разнице их технического состояния, обусловленной особенностями индивидуальных проектов. Предложено для оценки начального уровня технического состояния АЗС применить коэффициент техногенной безопасности (КТБ), позволяющий учитывать тот факт, что объекты вводятся в эксплуатацию с рядом допускаемых отклонений и скомпенсированных отступлений от проектных решений. На основе КТБ сформирована специальная поправка в уравнении для вычисления вероятности безотказной работы, учитывающая сдвиг по времени, в течение которого произойдет снижение этой вероятности со стопроцентного значения до другого, соответствующего реальному проекту АЗС.

*Ключевые слова:* вероятность безотказной работы, рекомендуемые требования, допускаемые отклонения, коэффициент техногенной безопасности

## **ABOUT INITIAL VALUE OF THE PROBABILITY OF FAILURE-FREE OPERATION OF GAS STATIONS TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

A.S. Poljakov; A.N. Ivanov; O.M. Medvedeva.

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

The article deals with one of the problems of evaluating the reliability of gas stations in terms of fire and industrial safety, which consists of a fairly substantial difference in their condition, due to the peculiarities of individual projects. We consider the formula for the state probability of the technical devices used in modeling man-made risks. To assess the entry-level technical condition of gas stations are invited to apply the Ratio of Technological Safety (RTS), which allows to take



into account the fact that the facilities put into operation with a number of tolerances and compensate for deviations from the design decisions. On the basis of RTS authors formed a special amendment to the equation for calculating the probability of failure-free operation, taking into account the shift in time, during which the declines in this probability with absolute value to another, corresponding to the real project of the gas station.

*Key words:* mandatory requirements, recommended requirements, tolerances, Ratio of Technological Safety

Согласно принятой в теории надежности модели, величина вероятности безотказной работы технических устройств изменяется во времени ( $t$ ) по экспоненциальному закону [1]:

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t}, \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента в рассматриваемом устройстве ( $i=1, 2, \dots, m$ ).

Из уравнения (1) следует, что в начальный момент времени  $t=0$  величина вероятности безотказной работы  $P(t=0) = 1$ .

Применительно к АЗС и ряду аналогичных объектов, эта модель неполностью адекватна, например, в случае строительства двух АЗС по одному и тому же проекту, но в разных местах и разными строительными организациями. При вводе АЗС в эксплуатацию величина вероятности безотказной работы  $P(t=0) = 1$ , когда полностью соблюдены установленные к ним требования. Это – идеальный случай. Фактически, как показывает жизненный опыт, объекты вводятся в эксплуатацию с рядом допускаемых отклонений и скомпенсированных отступлений от проектных решений, поэтому у двух сравниваемых АЗС начальное техническое состояние будет разным. Следует также помнить, что надежность эксплуатации АЗС в части пожарной и промышленной безопасности напрямую зависит и от качества самого проекта. Поскольку АЗС в России строятся, как правило, по индивидуальным проектам, то разница в их техническом состоянии может оказаться довольно существенной. Именно эти обстоятельства будут в дальнейшем определять характер наступления отказов в их работе, и, следовательно, должны быть учтены при выполнении расчетов величин рисков пожарной и промышленной безопасности [2, 3].

В связи с этим в зависимость (1) должна быть внесена поправка в виде некоторой величины  $\alpha_{\text{пр}}$ , учитывающей этот факт:

$$P(t) = \alpha_{\text{пр}} \cdot e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t}. \quad (2)$$

Косвенно необходимость введения поправки  $\alpha_{\text{пр}}$  подтверждается статистическими результатами старения резервуарных и трубных сталей по величине ударной вязкости [4], из которых производится технологическое оборудование АЗС.

Из сущности зависимости (2) следует, что  $P(t) = \alpha_{\text{пр}}$  при  $t=0$ , и тогда вносимая поправка должна иметь вероятностный характер.

Анализ показал, что применительно к АЗС, правила [5] и другие нормативные документы, например [6, 7], содержат требования трех уровней ответственности: обязательные (ОТ), рекомендуемые (РТ) требования и допускаемые отклонения (ДО). Каждый из этих уровней, в свою очередь, распространяется на разные по содержанию и значимости видов требований, относящихся к материалам, конструкции, монтажу металлоконструкций и технологическому оборудованию АЗС. Каждый отдельный вид

требований является соответствующим показателем качества проекта АЗС. В связи с этим, по методу аналогии [8, 9] и по признакам аддитивной и мультипликативной сверток [10], для оценки начального уровня технического состояния АЗС применен коэффициент техногенной безопасности, рассчитываемый по зависимости:

$$КТБ = \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i \left( \gamma_{OT} \sum_{j=1}^n (N_{OT_{ij}} - x_{ij}) + \gamma_{PT} \sum_{j=1}^n (N_{PT_{ij}} - y_{ij}) + \gamma_{DO} \sum_{j=1}^n (N_{DO_{ij}} - z_{ij}) \right)}{\sum_{i=1}^m \beta_i \left( \gamma_{OT} \sum_{j=1}^n N_{OT_{ij}} + \gamma_{PT} \sum_{j=1}^n N_{PT_{ij}} + \gamma_{DO} \sum_{j=1}^n N_{DO_{ij}} \right)}, \quad (3)$$

где  $\beta_i$  – веса значимости каждой из составных частей АЗС ( $i=1, 2, \dots, m$ ) в ее структуре;  $\gamma_{OT}$ ,  $\gamma_{PT}$ ,  $\gamma_{DO}$  – веса значимости обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений к техническому состоянию составных частей АЗС;  $N_{OT_{ij}}$ ,  $N_{PT_{ij}}$ ,  $N_{DO_{ij}}$  – количество обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений, содержащихся в  $j$ -м нормативном документе ( $j=1, 2, \dots, n$ ) для  $i$ -й составной части АЗС;  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$ ,  $z_{ij}$  – количество невыполненных обязательных, рекомендуемых требований и числа допущенных отклонений, содержащихся в  $j$ -м нормативном документе для  $i$ -й составной части АЗС на начальном этапе эксплуатации;  $\gamma_{OT} \sum_{j=1}^n N_{OT_{ij}}$ ,  $\gamma_{PT} \sum_{j=1}^n N_{PT_{ij}}$ ,  $\gamma_{DO} \sum_{j=1}^n N_{DO_{ij}}$  – сумма баллов оценки обязательных, рекомендуемых требований и допускаемых отклонений, содержащихся в  $n$  нормативных документах для  $i$ -й составной части АЗС;  $n$  – количество рассматриваемых нормативных документов;  $m$  – количество составных частей АЗС.

Коэффициенты веса  $\gamma_{OT}$ ,  $\gamma_{PT}$ ,  $\gamma_{DO}$  рассчитаны по известным правилам [11, 12] и, исходя из физической сущности требований, приняты следующие их численные значения:  $\gamma_{OT} = 1,00$ ;  $\gamma_{PT} = 0,75$ ;  $\gamma_{DO} = 0,50$ .

Величина коэффициента веса  $\gamma_{OT} = 1,00$  означает безусловное выполнение требований. Величина коэффициента веса для допускаемых отклонений –  $\gamma_{DO} = 0,50$  (или 50 % вероятность выполнения), поскольку их влияние – равновероятно. Для рекомендуемых требований принят коэффициент  $\gamma_{PT} = 0,75$  из соображений, что его величина не может быть выше значимости обязательного требования (в лучшем случае – равна ему) и менее значимости допускаемого отклонения.

Перечисленные значения коэффициентов веса справедливы в пределах того или иного нормативного документа. Для всех  $m$  составных частей АЗС (разнообразных по конструкции технологических устройств и оборудования) их вес может быть (до накопления соответствующей статистики) принят одинаковым (равным единице), поскольку отказ в работе любого из них приводит к потере работоспособности всего комплекса АЗС.

С учетом ранее изложенных сведений, коэффициент  $\alpha_{пр}$  в формуле (2) имеет смысл КТБ для начального этапа эксплуатации АЗС.

Поэтому при разработке моделей техногенных рисков это обстоятельство следует учитывать путем расчета величины КТБ. Однако, как следует из зависимости (3), для этого необходимо предварительно собрать объемную статистику из многочисленного перечня нормативных документов и содержащихся в них соответствующих требований, что может сопровождаться использованием необъективных или тиражированных (неоднократно повторенных) данных, содержащихся в разных документах. По этой причине малопригодны

для численного моделирования безопасности (или опасности) АЗС, целесообразно уйти от таких ситуаций.

Достичь этого применительно к одной и той же АЗС можно внесением поправки в уравнение (1), учитывающей сдвиг по времени, в течение которого произойдет

снижение вероятности безотказной работы с  $P(t) = e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t}$  – линия 2 (рис. 1) до

$P(t) = \alpha_{\text{пр}} \cdot e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t}$  – линия 1 (рис. 1).

Для этого достаточно приравнять функции

$$P(t_1) = (КТБ_1) \cdot e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t_1},$$

$$P(t_2) = (КТБ_2) \cdot e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t_2}.$$

Решение этой системы уравнений дает:

$$t_2 - t_1 = -\frac{1}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \cdot \ln \frac{КТБ_1}{КТБ_2}. \quad (4)$$

Например, для  $КТБ_1 = 0,85$  и  $КТБ_2 = 1,00$  при  $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 0,213 \text{ ч}^{-1}$  этот сдвиг составит:  $t_2 - t_1 = -\frac{1}{0,213} \cdot \ln 0,85 = 0,76$  года.

Очевидно, что величина сдвига по времени должна быть положительной, то есть зависимость (4) имеет смысл при условии  $t_2 > t_1$ , так как именно в этом случае  $КТБ_2 > КТБ_1$  и, следовательно, можно говорить о понижении вероятности безотказной работы (в частности, со стопроцентного значения до другого, соответствующего реальному проекту АЗС).

Таким образом, из уравнения (4) можно получить прогнозируемую перед началом эксплуатации АЗС величину интервала времени  $t_{\text{сдв}}$ , в течение которого произойдет снижение вероятности ее безотказной работы с  $P(t)=1$  до  $P(t) = \alpha_{\text{пр}}$  за счет особенностей индивидуального проекта АЗС: при  $t_1=0$ ;  $КТБ_2 = 1$  и  $КТБ_1 = КТБ$

$$t_{\text{сдв}} = t_2 = -\frac{1}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \cdot \ln КТБ.$$

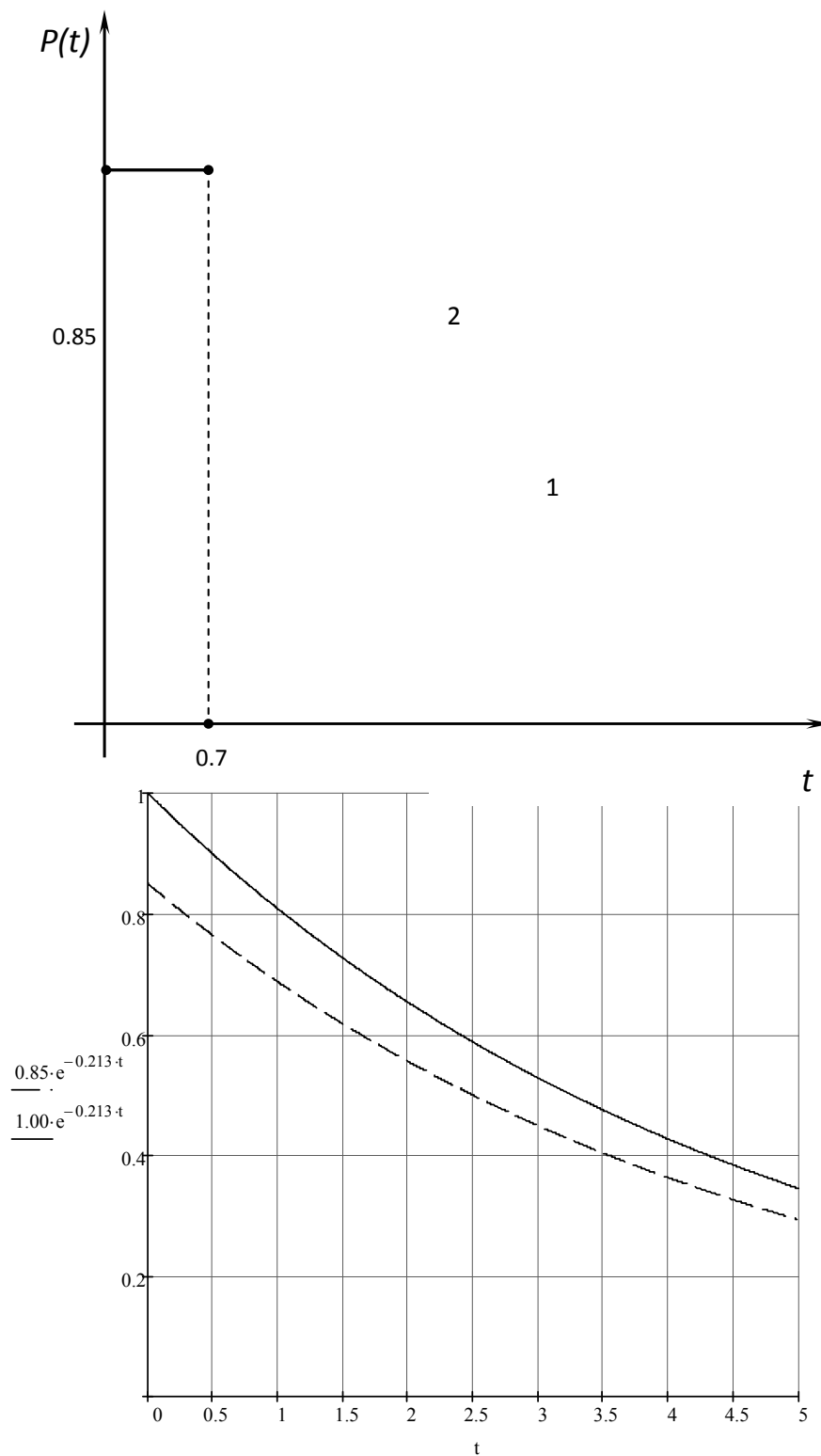


Рис. 1. Изменение вероятности безотказной работы технологического оборудования АЗС с учетом поправки  $\alpha_{\text{пр}} = 0,85$ , характеризующей начальное техническое состояние (1) и без ее учета (2)

Для самой величины вероятности безотказной работы АЗС с учетом указанного сдвига вместо формулы (1) предлагается следующая зависимость:

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i t}, \quad (5)$$

где  $t \geq t_{\text{сдв}}$ .

В этом случае уравнение (1) сохранит свою силу, и его можно будет применять для прогнозирования отказов элементов технологического оборудования АЗС при моделировании техногенной безопасности.

### **Литература**

1. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. М.: Машиностроение, 1986.
2. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.stroyattis.ru/gost\\_procie/gost\\_r\\_51901\\_2002.ru](http://www.stroyattis.ru/gost_procie/gost_r_51901_2002.ru) (дата обращения: 25.09.2011).
3. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2006.
4. Белкин А.П., Кишик В.В. Управление безопасностью промышленных объектов. ИКЦ Промтехбезопасность, 2004.
5. НПБ 111-98\*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности. М., 1999.
6. ГОСТ 17032-71. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Типы и основные размеры / введ. 1971 г. М.: Госстандарт СССР, 1971.
7. РСТ РСФСР 654-89. Резервуары стальные вертикальные для нефтепродуктов. Общие технические требования / введ. 1989 г. М.: Госстандарт СССР, 1989.
8. Мороз Н.А., Иванов А.Н., Поляков А.С. Методика экспертной оценки техногенной безопасности проекта резервуара для нефти и нефтепродуктов // Вестник Санкт-Петербургского института ГПС МЧС России. 2006. № 4 (15).
9. Интегральная оценка безопасности резервуаров объектов нефтепродуктообеспечения сельскохозяйственного производства / Иванов А.Н., Мороз Н.А., С.А. Шипицын [и др.] // Сельский механизатор. 2009. № 6.
10. Волевич Л.Р., Гиндикин С.Г. Обобщенные функции и уравнения в свертках. М.: Физматлит, 1994.
11. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику // II Всерос. конф. пользователей MATLAB, 25–26 мая 2004 г.
12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989.

## **НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ РИСКА И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ**

**В.М. Шишкин, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН**

Представлены методический подход и некоторые результаты, ориентированные на управление безопасностью сложных критически важных объектов. Показаны возможность использования в этом случае степенных моделей распределения меры риска и механизм возникновения нелинейных эффектов. Введены и обоснованы параметры критических состояний для таких объектов, предложены возможности их использования для априорного

ранжирования критичности объектов и прогноза критических состояний.

*Ключевые слова:* риск, мера, сложность, критические состояния, нелинейность, степенное распределение, нелинейное преобразование, параметризация, ранжирование, прогноз

## NONLINEAR EFFECTS IN RISK MODELING AND OPPORTUNITY OF CRITICALITY PARAMETRIZATION

V.M. Shishkin. Saint-Petersburg institute of Informatics and Automatization RAS

The methodical approach and some results focused on security management of the complex objects especially crucial ones are presented. Usage possibility of power distribution models of a risk measure and the mechanism of occurrence of nonlinear effects in this case are shown. Parameters of break points for such objects are entered and proved. Their application for aprioristic criticality ranging of objects and the forecast of break points are offered.

*Key words:* risk, measure, complexity, critical condition, nonlinearity, power distribution (distribution degrees), nonlinear transformation, parameterization, ranking, forecast

Последние годы демонстрируют устойчивую тенденцию к росту количества катастрофических проявлений как природного, так и техногенного характера. При этом они становятся взаимозависимыми: природные явления способны провоцировать техногенные катастрофы, и ещё неизвестно, что из них представляет большую опасность (землетрясение в Японии), а крупномасштабные технологические проекты могут вызывать естественную, но катастрофическую с точки зрения человечества реакцию природной среды. Очевидно также, что физические характеристики явлений, в зависимости от их локализации во времени и пространстве, уже не способны однозначно определить последующий ущерб. Всё это явно свидетельствует о нелинейности процессов, неизбежными свидетелями или участниками которых мы стали.

Таким процессам могут сопутствовать нелинейные переходы, с которыми связываются критические точки и возможность неблагоприятных последствий, то есть риск.

Сфера безопасности в последние годы стала ареной активного словотворчества, не всегда оправданного, поскольку введение новых терминов и понятий совсем необязательно приводит к уточнению сущности представляемых объектов и явлений. Введение новых терминов или их интерпретаций является обозначением принципиально новых явлений или объектов. И хотя безопасность, как предметная область, в её новейших аспектах может быть отнесена к развивающимся направлениям теории и практической деятельности, тем не менее, нет оснований полагать, что понятийная основа ее должна выходить за пределы достаточно богатой научно-технической традиции.

Группа однокоренных терминов: критический, критичный, критичность, сравнение употребления которых в разных текстах исключает однозначное понимание, представляет характерный пример семантической нечеткости такого рода. Одной из причин этого является некритическое отношение к англоязычным терминам «critical» и «criticality», которые далеко не всегда допускают буквальный перевод.

В то же время в физике, равно как и в математике, понятие критичности используются давно, и смысл производных терминов вполне прозрачен, несмотря на разнообразие применений (критическая масса, критический объем, критическая температура, критическая точка, критическое значение, критические явления и многое другое). Сравнивая такого рода определения, использующие термин «критический», не трудно обнаружить в них семантический инвариант, указывающий на возможность при малых изменениях некоторых параметров к качественному изменению объекта. При ясном понимании, что стоит за понятием «критический» в традиционных научных дисциплинах, уже не может вызывать

сомнений производное понятие «критичность», как обозначение или характеристика критического, в указанном смысле, состояния того или иного объекта.

Критический элемент или критическая система в теории надёжности, отказ которых приводит к отказу системы, в состав которых они входят, то есть происходит её переход в иное качество, также понятны и не противоречат физическим или математическим интерпретациям. Но критически важный элемент критической инфраструктуры звучит уже несколько странно и избыточно.

Разные подсистемы или системы играют при функционировании объекта далеко не одинаковую роль, отказы различных компонентов могут приводить к разным последствиям, и переходов от одного состояния к другому может быть не один, а больше. Поэтому возникает проблема ранжирования уровня критичности, управления критичностью, а значит и определения ее меры. Однако и в таком контексте рассматриваемое понятие не выходит за традиционные представления, поскольку остается неизменной его суть – возможность изменения состояния. Но когда критичность, качественное понятие, называют, например, мерой важности, присваиваемой некоторому объекту, возникает явная логическая ошибка – с таким же успехом важность можно назвать мерой критичности.

Критичность нередко связывают с неустойчивостью как в математическом, так и в широком смысле этого слова, с чем также можно согласиться, поскольку потеря устойчивости предполагает качественный переход. И достаточно общее определение критического состояния, как «состояния крайней неустойчивости, достигаемого открытой неравновесной системой в ходе предшествующего периода эволюционного развития»; и даже громоздкое определение критических систем, как «сложных компьютеризированных технических (оргтехнических) систем, блокировка или нарушение функционирования которых потенциально приводит к потере устойчивости организационных систем государственного управления и контроля, разрушению системы финансового обращения, дезорганизации систем энергетического и коммуникационно-транспортного обеспечения государства, глобальным экономическим и техногенным катастрофам, утрате обороноспособности государства», в целом не должно вызывать возражений.

Аналогичная ситуация по разным причинам сложилась с термином «риск», смысл которого до сих пор в технических приложениях однозначно не определился, а за их пределами имеет узко специфический (как например, в страховой деятельности), интуитивный или вовсе бытовой характер. Пример исчерпывающего сущностного анализа этого термина, основанного на выделении семантического инварианта, можно найти в [1]. В результате соответствующее понятие приводится к бесспорным категориям неопределенности, возможности, оценочности суждения о неблагоприятном исходе или развитии процесса, что позволяет, не теряя общности, корректно использовать его в разнообразных приложениях. При этом, учитывая, что в указанном понимании риск является качественной характеристикой, возникает свобода выбора и преобразования его меры, без необходимости исключительно вероятностной её интерпретации или, тем более, эквиваленции риска и вероятности, что часто, и не всегда обоснованно, делается.

Для дальнейшего изложения определим риск универсальным образом, как возможность нанесения ущерба объекту (Оксфордский словарь определяет слово Risk практически так же: «a chance of danger or loss») [2]. Тогда в качестве меры риска примем некоторое множество величин, способных характеризовать потенциальный ущерб, понимаемый в произвольном смысле. В таком случае можно говорить, в частности, и о распределении вероятностей этой меры риска.

Что касается критичности, то с учётом вышеизложенного в данном контексте будем её рассматривать, как состояние объекта около перехода в новое качество, представляющее риск для объекта. Тогда определение меры критичности сводится к задаче параметризации критических состояний, решение которой, конечно, неоднозначно, так как выбор параметров, их содержательная интерпретация в значительной степени зависят от конкретных обстоятельств и предметной области.

## Нелинейные эффекты и степенное распределение

Тенденция в развитии технических систем различного назначения направлена на их структурное и функциональное усложнение, распределённость ресурсов. Поведение таких структур, состоящих из очень большого числа компонентов, определяется огромным числом взаимодействий, при этом обратные связи и недетерминированное поведение некоторых компонентов системы приводит к возникновению нелинейных эффектов.

В то же время технические системы становятся всё более человеко-машинными, но уже не в традиционном смысле этого слова, предполагающем участие в процессе функционирования профессионального человека-оператора, возмущающие возможности которого ограничены и в основном прогнозируемы. Человек из средства поддержки процесса во многих случаях становится целью функционирования, и проявления человеческого фактора поэтому всё более разнообразятся. Операторами выступают и рядовые потребители услуг, но также и квалифицированные злоумышленники, иницирующие или использующие естественные возмущения в системе.

О системах такого рода можно говорить как о неравновесных, системах с сильной положительной обратной связью. В их функционировании обнаруживаются свойства нелинейной динамики и, соответственно, склонность при некоторых условиях к катастрофическому поведению. Последнее обстоятельство важно в нашем случае, так как имеет непосредственное отношение к критическим состояниям.

Уже достаточно давно была показана необходимость использования моделей нелинейной динамики в анализе сложных систем [3], выдвигались аргументы в пользу нелинейного мышления по всему спектру научных изысканий, широкого применения нелинейной методологии, признавалась высокая эвристическая значимость моделей и понятий, разработанных в ней [4]. Идеи, высказанные в работах разных авторов, активно развивались в дальнейшем [5], и к настоящему времени накопилась обширная литература по данной тематике. Немалое внимание при этом уделялось и проблеме управления рисками, поскольку нелинейная парадигма существенно изменяла традиционные представления в этой области [6, 7].

Однако надо признать, что убедительные выводы, содержащиеся в этих и других работах, носят, скорее, глобальный во всех отношениях характер. Впрочем, скептиками это отмечалось и раньше: признавая достоинства нелинейного подхода, высказывались сомнения в его практичности.

Тем не менее, выразим убеждение, что потенциальная практичность методов нелинейной динамики для изучения поведения усложняющихся и взаимосвязанных с ещё более сложной природной средой технических систем высока. Может быть, прежде всего, она состоит в том, что стимулирует поиски конструктивных применений фундаментальных закономерностей, присущих сложным динамическим структурам.

Принципиальную значимость в моделях нелинейной динамики имеют степенные функции. Это достаточно убедительно было показано в работах ряда авторов, причём, что важно, исходя из разных позиций. Они представлялись и как статистические образы катастрофического поведения [8]; и как свойственные системам развивающегося типа [9]; и присущие системам с положительной обратной связью на основе анализа кинетических уравнений больцмановского типа – «в системах, где нет степенного распределения, нет и обратной связи» [10]. Статистические исследования самых разнообразных явлений на эмпирическом уровне давно обнаруживали такую же зависимость (законы Парето, Лотки, Ципфа и др.).

В итоге надо признать, что для рассматриваемого класса систем имеются основания считать степенные функции наиболее адекватными как для описания динамических свойств, так и в функциях распределения вероятностей меры риска.

Обычно экспоненциальные и степенные функции, в том числе и распределения вероятностей, противопоставляются, справедливо подчёркиваются их существенные



различия. Тем не менее, в определённом диапазоне параметров они сближаются и, если не асимптотически, то можно сказать, плавно переходят друг в друга.

Рассмотрим функции, плотность и интегральную, экспоненциального и степенного распределения вероятностей без потери общности, соответственно, в виде (1) и (2):

$$f_{\text{exp}}(x) = \lambda e^{-\lambda(x-1)}, F_{\text{exp}}(x) = 1 - e^{-\lambda(x-1)}, x \geq 1, \lambda > 0; \quad (1)$$

$$f_p(x) = \alpha x^{-(\alpha+1)}, F_p(x) = 1 - x^{-\alpha}, x \geq 1, \alpha > 0. \quad (2)$$

Если сопоставить визуально их графики для значений параметра  $\alpha$ , достаточно удалённых от единицы, то они оказываются мало различимыми и по мере роста параметров в равномерной шкале практически совпадают. Проще всего сравнивать распределения с равными математическими ожиданиями. Это не наилучшее, но, как можно показать [11], близкое к нему, причём мажорирующее, приближение. Тогда между параметрами распределений в виде (1) и (2), математические ожидания которых,

$$m_{\text{exp}}(\lambda) = \frac{\lambda + 1}{\lambda}, m_p(\alpha) = \frac{\alpha}{\alpha + 1}, \alpha > 1, \quad (3)$$

устанавливается простое соотношение:

$$\alpha = \lambda + 1. \quad (4)$$

Более точно определим приближение (2) к (1) (или наоборот) в среднеквадратическом смысле, минимизируя критерий (5),

$$s(\lambda, \alpha) = \sqrt{\int_1^{\infty} (\lambda e^{-\lambda(x-1)} - \alpha x^{-(\alpha+1)})^2 dx}. \quad (5)$$

Эта зависимость непрерывна на всём множестве допустимых значений параметров, и, как можно показать, имеет единственный минимум, для определённости пусть это будет  $s_{\min}(\lambda)$ , для любого фиксированного  $\lambda$ , который в общем виде находится как решение уравнения:

$$\frac{d}{d\alpha} s(\lambda, \alpha) = 0. \quad (6)$$

Интегрирование выражений (5) и (6) приводит к бесконечным суммам, поэтому в удобном для анализа виде зависимости  $s$  от параметров и параметров друг от друга выразить не представляется возможным. Тем не менее, для каждого  $\lambda$  находится такое единственное значение  $\alpha^o > 1$ , что  $s(\lambda, \alpha^o) = s_{\min}(\lambda)$ , при котором приближение (2) к (1) в смысле (5) будет наилучшим. При этом  $\lim_{\lambda \rightarrow \infty} s_{\min}(\lambda) = 0$ , а упрощённое приближение с соотношением

параметров (4), то есть  $\alpha^* = \lambda + 1$ , монотонно стремится сверху к наилучшему. Однако, хотя и  $\lim_{\lambda \rightarrow \infty} s(\lambda, \alpha^*) = 0$ , но относительная разница между ними,

$\delta_s(\lambda) = [s(\lambda, \alpha^*) - s_{\min}(\lambda)] / s_{\min}(\lambda)$ , никогда не становится нулевой, и можно предположить, что  $\lim_{\lambda \rightarrow \infty} [s(\lambda, \alpha^*) - s_{\min}(\lambda)] = s_{\min}(\lambda)$ , во всяком случае, численно

$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \delta(\lambda) \cong 1$ . Похожее явление наблюдается и для параметров, между которыми всегда

соблюдается отношение  $\alpha^* > \alpha^o > \lambda$ , но их относительные разницы  $\delta_\lambda = (\alpha^o - \lambda) / \lambda$  и  $\delta_\alpha = (\alpha^* - \alpha^o) / \alpha^o$ , всё же демонстрируют стремление к нулю.

Сходимость оценок упрощенного приближения к наилучшему, как можно увидеть, не быстрая, имеет свои особенности, и поэтому им следует пользоваться с осторожностью, но стремление наилучшего приближения к экспоненциальному происходит значительно лучше и уже в области умеренных значений  $\lambda=4 \div 5$  становится вполне приемлемым.

Наилучшее приближение является более жёстким, так как по мере уменьшения параметра  $\alpha$  свойства степенного распределения ухудшаются, поэтому для пессимистических оценочных расчётов вместо значения  $\alpha^o$  можно использовать даже  $\alpha^*$ , зная, что состояние оцениваемого объекта, по крайней мере, не лучше оценки.

Таким образом, имеется возможность с оцениваемой погрешностью, уменьшающейся по мере роста параметра  $\lambda$  или  $\alpha$ , легко отобразить экспоненциальное распределение в степенное или наоборот. С другой стороны, учитывая, что  $\lambda$  и его обратная величина во многих приложениях экспоненциального распределения имеют физический смысл, становится возможным содержательно интерпретировать безразмерный параметр  $\alpha$  степенного распределения.

## Литература

1. Хованов Н.В. Математические модели риска и неопределенности. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 204 с.
2. Хокинс Дж.М. The Oxford Dictionary of the English Language. М.: Астрель, АСТ, 2002. 828 с.
3. Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие // Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения / под ред. И.М.Макарова. М.: Наука, 1996. 264 с.
4. Mainzer K. Thinking in Complexity / The Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind. 3rd rev. and enlarged ed. Berlin: Springer, 1997. 456 p.
5. Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие // Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения / под ред. Г.Г.Малинецкого, С.П.Курдюмова. М.: Наука, 2002. 480 с.
6. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / В.А. Владимир, Ю.Л. Воробьев, Г.Г. Малинецкий [и др.]. М.: Наука, 2000. 432 с.
7. Малинецкий Г.Г. Сценарии, стратегические риски, информационные технологии // Информационные технологии и вычислительные системы. 2002. № 4. С. 83–108.
8. Кузнецов И.В., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Научная основа междисциплинарного исследования бедствий, катастроф и кризисов // ИПМ РАН. 2004. № 47. 11 с.
9. Александров В.В. Развивающиеся процессы и системы. Степенные законы // Информационные системы и технологии. 2007. № 1 (1). С. 58–83.
10. Герман А.С. Антиглобалистский манифест. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0230/002a/02301006.htm> (дата обращения: 21.03.2011).
11. Шишкин В.М. Степенное распределение и управление рисками критических систем // Проблемы управления рисками и безопасностью: труды Ин-та системного анализа Рос. акад. наук. Т. 31. М.: КомКнига, 2007. С. 39–59.

# УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СОСУЛЕК

**П.В. Дружинин, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ;**

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

**А.Л. Бараш, кандидат технических наук, доцент.**

**Военный инженерно-технический университет, Санкт-Петербург**

Рассмотрена техническая возможность использования систем вентиляции воздуха в зданиях для предотвращения обледенения кромок крыши и образования сосулек. Технический результат разработок заключается в повышении эффективности тепловых труб, используемых для предотвращения образования сосулек.

*Ключевые слова:* система вентиляции воздуха, крыша, обледенение, сосульки, тепловые трубы

## ARRANGEMENTS FOR PREVENTION OF FORMATION OF ICICLES

P.V. Druzhinin; P.A. Zajchenko; A.L. Barash.

Saint-Petersburg Military technical-engineering university

The short summary: Concern systems of ventilation of air in buildings, and can be used for prevention of an icing of edges of a roof and formation of icicles. The technical result of designs consists in increase of efficiency of the thermal pipes used for prevention of formation of icicles.

*Key words:* system of ventilation of air, a roof, an icing, icicles, thermal pipes

С учетом климатических особенностей Северо-Западного региона России, и особенно Санкт-Петербурга, с его исторически сложившимся архитектурным обликом и плотной застройкой, проблема ледообразования на крышах и водостоках зданий в осенне-зимне-весенний период стоит довольно остро.

К наиболее негативным последствиям ледообразования можно отнести возникновение потенциальной опасности для граждан города, вызванной возможностью обрушения сосулек, ледяных и снежных масс, а также оказываемое разрушающее воздействие на фасады зданий и элементы покрытия и кровли. Благодаря перепадам температур вода переходит из жидкого состояния в твёрдое и обратно, увеличивая при этом отверстия в размере, пробивает себе дорогу внутрь здания и на его фасады. Материалы, подвергшиеся воздействию воды, очень часто теряют свои первоначальные свойства. Желоба, подвергшиеся мощному натиску ледяных масс деформируются и приходят в негодность. Водосточные трубы, обретая лишний вес, обрываются, падают и очень часто не подлежат восстановлению. Это далеко не полный список материального ущерба, связанного с зимней эксплуатацией кровли. Известны случаи, когда под действием снеговой нагрузки происходило обрушение кровли и даже зданий. К таким негативным фактам можно отнести и обрушение кровли аквапарка в Москве, повлекшее за собой жертвы людей.

В связи со сложившейся ситуацией и благодаря работе большого количества специалистов разного профиля мы располагаем обширным опытом решения потенциальных

проблем, связанных с зимней эксплуатацией кровли. В настоящее время борьба с обледенением осуществляется либо при помощи его механического удаления, прибегая к услугам промышленных альпинистов и специальной техники, либо с применением различных систем обогрева кровли.

Для лучшего восприятия проблемы ледообразования на крышах и в водосточных трубах домов необходимо рассмотреть причины этого явления.

Основная причина образования корок льда – это перепад температур между центральной частью кровли и краем крыши с находящимися на нем водостоками. При строительстве здания форме крыши уделяется внимание в основном с точки зрения эстетического вида или требований заказчика, что особенно характерно для зданий исторического центра Санкт-Петербурга. В процессе реконструкции чаще всего жертвуют чердачным пространством, размещая непосредственно под кровлей технический этаж или жилые помещения. При этом не обеспечивается необходимая теплоизоляция, что приводит к негативным последствиям.

Другой причиной можно считать особенности климата, при которых возникают наледи даже на совершенной, с точки зрения конструкторов-архитекторов, кровле. Очень неблагоприятен для крыши в этом отношении осенне-зимне-весенний период с его резкой сменой температур и неоднократным переходом через нулевую отметку на градуснике не только на протяжении одного месяца, но и на протяжении одних суток. Такое изменение температуры наружного воздуха обязательно приведет к весьма быстрому охлаждению водостоков, охлаждающихся намного быстрее, чем кровля, которая сохраняет теплоту значительно дольше, тем самым создавая все условия для образования сосулек.

На первый взгляд самым простым способом борьбы с налетом льда является механическая очистка кровель от наледи и сосулек, которая связана с услугами фирм, специализирующихся на промышленном альпинизме, что в свою очередь довольно накладно. Чтобы в этом убедиться, достаточно взглянуть на прайс-лист с услугами любой из таких организаций. В среднем стоимость минимального заказа, включающая очистку 24 м<sup>2</sup>, составляет 6000 рублей, а сколько раз придется воспользоваться подобными услугами даже на протяженности одного осенне-зимне-весеннего периода.

Еще один немаловажный минус механической очистки состоит в том, что это способ устранения ледообразования, а не его предотвращения, что в свою очередь может привести к негативным последствиям.

В настоящее время наиболее эффективным способом предотвращения ледообразования, с применением систем обогрева кровли, является установка кабельных систем. Основным элементом такой системы являются греющие кабели, которые прокладывают в местах скопления ледяных масс: в желобах и водостоках, ендовах и т.п. Управление системой осуществляется в автоматическом режиме с помощью специальных термостатов, которые включают и выключают систему в зависимости от наружной температуры или, в более сложном варианте, от наружной температуры и осадков в виде снега. Подобные системы неплохо зарекомендовали себя и в настоящее время нашли широкое практическое применение.

Однако существенным недостатком подобных систем является высокая потребляемая электрическая мощность. В среднем для таяния снежного покрова требуется порядка 300 Вт тепла на 1 м<sup>2</sup>. Таким образом на площадь 30 кв.м понадобится электрическая мощность около 9 кВт. Подобные энергозатраты в больших масштабах делают этот способ экономически нецелесообразным.

В строительстве также получили распространение системы подогрева по технологии водяной теплый пол, где в качестве теплоносителя используется вода, приводимая в движение циркуляционным насосом, потребляющим при этом основную электрическую нагрузку. Подключение системы осуществляется по закрытой схеме через пластинчатый теплообменник. Применяются подобные системы в основном при устройстве плоских эксплуатируемых кровель, смотровых площадок и т.п. Применение подобных систем для

скатных кровель, особенно в зданиях старой постройки, практически неосуществимо в виду громоздкости и технических особенностей данной системы.

После проведения небольшого сравнительного анализа различных систем и способов предотвращения ледообразования, наиболее применяемых на данный момент, и приблизительного сравнения потребляемых ими ресурсов (электроэнергия, тепловая энергия, затраты на услуги промышленных альпинистов и т.д.) сама собой назревает необходимость проведения исследований в этой области с целью обеспечения возможности повсеместного применения более экономичных и не менее эффективных систем и способов борьбы с этой проблемой.

Представленный способ основан на возможности использования вытяжного воздуха в вентиляционных каналах как источника бесплатной тепловой энергии. Исследованием данного способа предотвращения ледообразования занимается научное направление под руководством профессора П.В. Дружинина. На разработки было получено четыре патента, приведенные ниже.

Устройство для предотвращения образования сосулек (RU 2301311) [1], решает задачу повышения эффективности тепловых труб, используемых для предотвращения образования сосулек путем: а) уменьшения аэродинамического сопротивления их зон испарения в вытяжных вентиляционных каналах; б) повышения коэффициента теплопередачи к зонам испарения тепловых труб от вытяжного воздуха; в) уменьшения тепловых потерь от тепловых труб на участках между зонами испарения и конденсации.

Составное устройство для предотвращения образования сосулек (RU 2301308) [2], существенно снижает стоимость изготовления и монтажа тепловых труб в зданиях, а также повышает удобство монтажа тепловых труб без загромождения помещений и проходов чердаков.

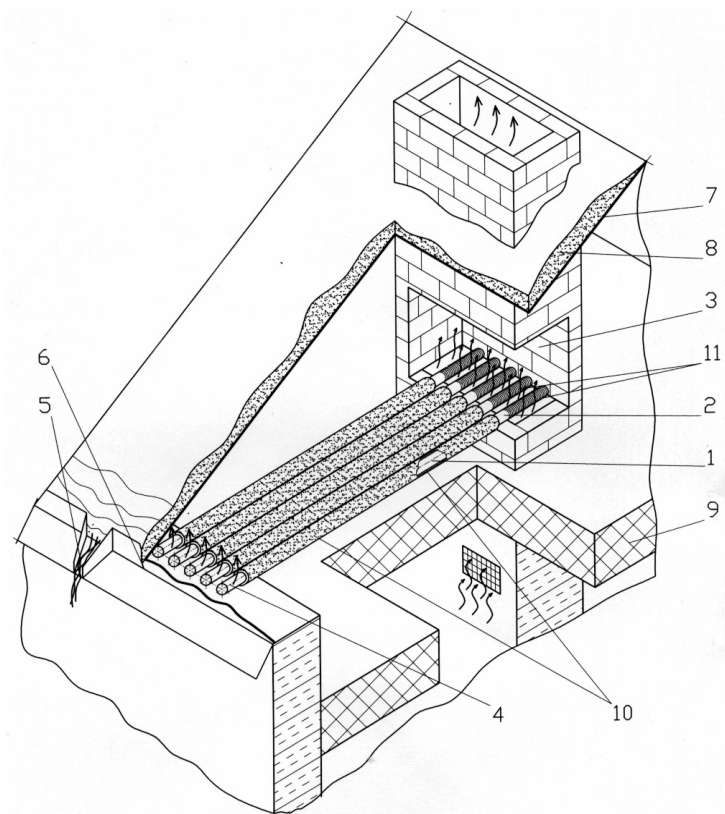
Реверсивное устройство для предотвращения образования сосулек (RU 2301309) [3], повышает эффективность и универсальность устройств для предотвращения образования сосулек.

Комбинированное устройство для предотвращения образования сосулек (RU 2301310) [4], повышает эффективность устройства и позволяет предотвратить образование сосулек в любую погоду и при обильных снегопадах.

Все устройства содержат нагреватель кровли, выполненный из тепловых труб, зоны испарения которых располагаются в воздуховодах вытяжного воздуха, а зоны конденсации закрепляются под водостоками и желобами крыши.

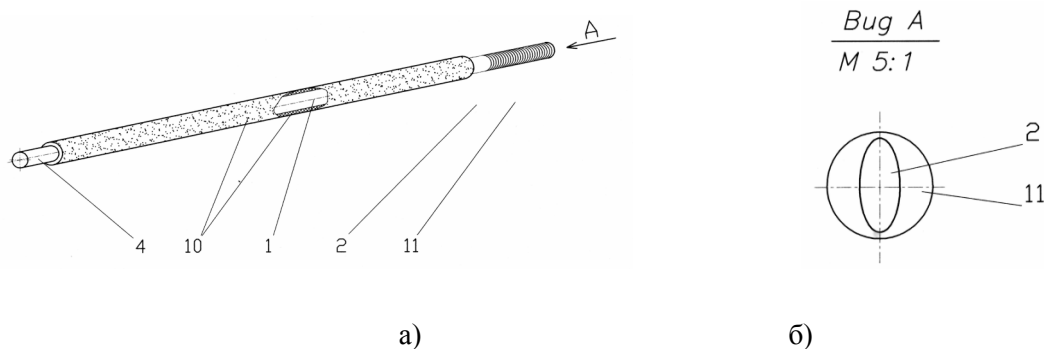
Устройство для предотвращения образования сосулек [1] представлено на рис. 1, 2а и 2б.

Теплый воздух из помещения здания через вентиляционные отверстия поступает в вентиляционный канал (воздуховод – 3) вытяжного воздуха. Двигаясь по воздуховоду, воздушные потоки омывают эллиптические с ребрениями 11 зоны испарения 2 тепловых труб 1, которые обладают небольшим аэродинамическим сопротивлением и высоким коэффициентом теплопередачи. Поглощенная теплота в зоне испарения 2 передается в зону конденсации 4 тепловых труб 1, где впоследствии она передается участкам кровли путем теплопроводности и конвекции. Потери теплоты в тепловых трубах 1 между зонами испарения 2 и конденсации 3 сведены к минимуму теплоизоляцией 10. В результате подвода теплоты к желобам 6 и водостокам 5 крыши 7 происходит таяние образовавшихся на них ледяных валиков, наледи и сосулек. Таким образом, путь стока талой воды остается свободным в любое время и при любой температуре воздуха.



**Рис. 1. Схема устройства:**

*1 – тепловые трубы (ТТ); 2 – зоны испарения ТТ; 3 – вентиляционный канал (воздуховод); 4 – зоны конденсации ТТ; 5 – водостоки; 6 – желоб; 7 – крыша; 8 – снежные массы; 9 – перекрытие; 10 – теплоизоляция ТТ; 11 – внешние ребрения зон испарения ТТ*



**Рис. 2. а) вид одной ТТ; б) вид ТТ с торца зоны испарения (увеличено):**

*1 – тепловая труба; 2 – зона испарения ТТ; 4 – зона конденсации ТТ; 10 – теплоизоляция ТТ; 11 – внешние ребрение зоны испарения ТТ*

Составное устройство для предотвращения образования сосулек [2] представлено на рис. 3а, 3б и 3в.

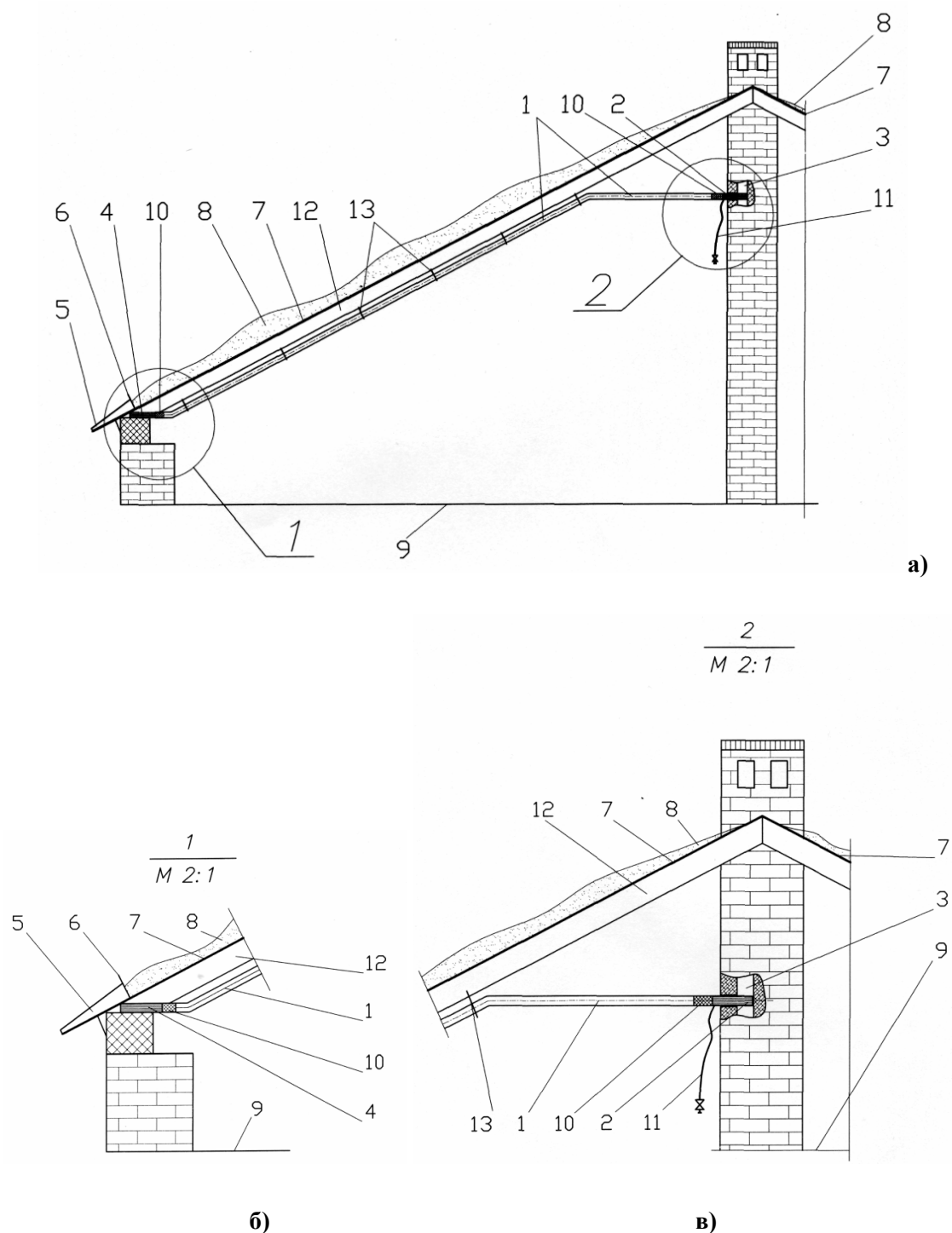


Рис. 3. а) схема составного устройства; б) зона конденсации составной ТТ;  
 в) зона испарения составной ТТ с заправочным штуцером:  
 1 – тепловые трубы (ТТ); 2 – зоны испарения ТТ; 3 – вентиляционный канал (воздуховод);  
 4 – зоны конденсации ТТ; 5 – водостоки; 6 – желоб; 7 – крыша; 8 – снежные массы;  
 9 – перекрытие; 10 – разъемы; 11 – заправочный штуцер; 12 – деревянная обрешетка;  
 13 – крепежные элементы

Выполнение тепловых труб составными из зон (участков) испарения и конденсации, между которыми находятся гибкие из металлопластика трубы, необходимо для подготовки и непосредственного монтажа тепловых труб на месте (на конкретном чердаке), так же как, например, выполняют монтаж сплит-систем кондиционеров. Первоначально идет подгонка по месту установки гибкой трубы, далее – ее обрезание (по необходимому размеру) и установка на ее торцы (концы) стандартных зон (участков) испарения и конденсации,

например, при помощи разъемов (сгонов), аналогичных применяемым для металлопластиковых труб в сантехнике. После этого производится заправка тепловой трубы рабочим телом (совместно с проверкой последней на герметичность).

Гибкие трубы с внутренним фитилем по всей ее длине позволяют упростить сборку и монтаж тепловой трубы по месту установки. Фитиль должен быть неотъемлемой составной частью гибкой трубы (закреплен в заводских условиях) и при монтаже тепловой трубы отрезаться вместе с гибкой трубой.

Расположение заправочного штуцера на участке испарения тепловой трубы удобно для заправки тепловой трубы рабочим телом. Это также удобно при обслуживании как одной тепловой трубы, так и пучка тепловых труб, расположенных в одном вентиляционном канале вытяжного воздуха. Доступ к вентиляционному каналу всегда более открыт, чем к участкам кровли у ее кромок и у водостоков, тем более что все тепловые трубы сходятся к вентиляционным каналам вытяжного воздуха. Заправочный штуцер может быть аналогичен заправочному штуцеру сплит-систем кондиционеров воздуха.

Расположение зон (участков) испарения тепловых труб в вентиляционном канале вытяжного воздуха под кровлей (покрытием кровли) необходимо для обеспечения свободного прохода по чердаку и исключения загромождения чердаков (особенно проходов) установленными тепловыми трубами.

Монтаж тепловых труб, их непосредственное крепление снизу к кровле (например, к стропильной системе и ее деревянной обрешетке) позволяет оптимально расположить тепловые трубы на чердаке и обеспечить свободный проход по чердаку здания.

Реверсивное устройство для предотвращения образования сосулек [3] представлено на рис. 4а и 4б.

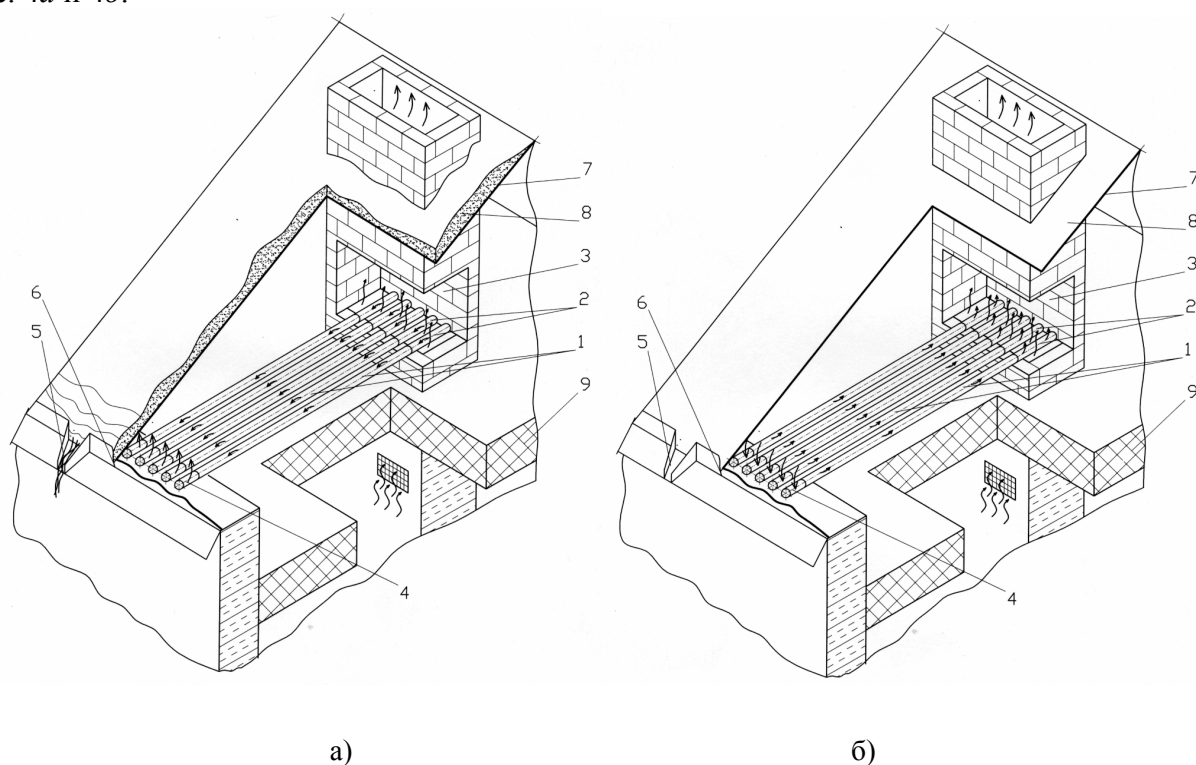


Рис. 4. а) схема реверсивного устройства работающего в холодное время года (зимой); б) - работающего в теплое время года (летом):  
 1 – тепловые трубы (ТТ); 2 – зоны испарения ТТ; 3 – вентиляционный канал (воздуховод);  
 4 – зоны конденсации ТТ; 5 – водостоки; 6 – желоб; 7 – крыша; 8 – снежные массы;  
 9 – перекрыти)



Зимой теплый воздух из помещения здания через вентиляционные отверстия поступает в вентиляционный канал (воздуховод – 3) вытяжного воздуха. Двигаясь по воздуховоду 3, воздушные потоки омыают зоны испарения 2 тепловых труб 1. Поглощенная теплота в зоне испарения 2 передается в зону конденсации 4 тепловых труб 1, где впоследствии она передается участкам кровли путем теплопроводности и конвекции. В результате подвода теплоты к желобам 6 и водосточкам 5 крыши 7 происходит таяние образовавшихся на них ледяных валиков, наледи и сосулек.

В теплое время года (летом) зоны испарения 2 и конденсации 4 тепловых труб 1 меняются местами, что позволяет отбирать теплоту от нагретой крыши 7 и передавать ее к вытяжному воздуху в вентиляционный канал 3. При этом вытяжной воздух подведенной теплотой нагревается, становится менее плотным и с большей скоростью выходит из вентиляционного канала, что приводит к возрастанию в нем тяги. В результате этого повышается комфортность в вентилируемых помещениях.

В конечном итоге это обстоятельство не только компенсирует аэродинамическое сопротивление установленных в вентиляционном канале зон испарения тепловых труб, но и создаст предпосылки к интенсификации естественной вентиляции в теплое время года (особенно летом) и тем самым повысит комфортность вентилируемых помещений. Этим и будет достигаться новый положительный эффект устройства, наряду с предотвращением образования сосулек в холодное время года. Другими словами устройство [3] в теплое время года будет повышать эффективность естественной системы вентиляции здания.

Одинаковое исполнение (с одинаковой внутренней структурой) зон испарения и конденсации позволит тепловым трубам в холодное и теплое время года меняться своим назначением (предназначением) без какой бы то ни было переделки.

Подбор используемого рабочего тела тепловых труб с возможностью функционирования в реверсивном режиме в зависимости от температуры окружающей среды (и измененном при этом внутреннем давлении в тепловых трубах) автоматически позволит тепловым трубам изменять направление переноса теплоты. Таким рабочим телом для реверсивной тепловой трубы могут стать, например, смеси различных низкокипящих жидкостей, изменение состава которых будет влиять на температуру, при которой происходит смена направления переноса теплоты, что существенно для разных климатических зон.

Комбинированное устройство для предотвращения образования сосулек [4] представлено на рис. 5, 6а и 6б.

В неблагоприятных погодных условиях, особенно при обильных снегопадах, включается (электрическим включателем – 11) дополнительный электронагреватель 10 зон испарения 2 тепловых труб 1, вследствие чего к последним подводится большее количество теплоты, необходимой для предотвращения образования сосулек и наледей. Необходимая дополнительная теплота, подводимая к зонам испарения 2 тепловых труб 1, может быть подведена от теплообменника 12 водяной системы отопления здания, который включается открытием расположенных на его трубопроводах 13 вентилей 14. После изменения погоды (с интенсивным образованием наледей и сосулек) дополнительный нагрев зон испарения 2 тепловых труб 1 выключается и далее устройство работает в штатном режиме.

Дополнительные нагреватели зон испарения необходимы для подведения дополнительной теплоты в условиях неблагоприятной погоды при обильных снегопадах. При оборудовании здания устройством нецелесообразно оборудовать его дополнительным противообъединительным устройством или системой. Гораздо дешевле (экономичнее) по капитальным затратам использовать существующее устройство, но при этом обеспечив его эффективную надежную работу. Именно для этого и служат предложенные дополнительные нагреватели по [4].

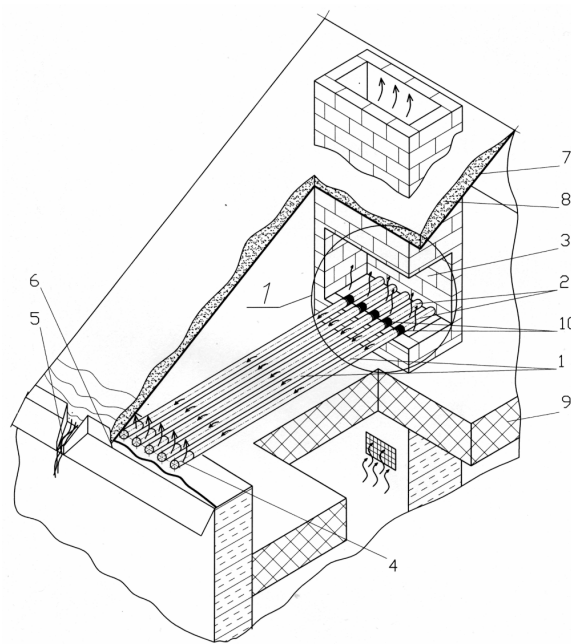


Рис. 5. Схема комбинированного устройств

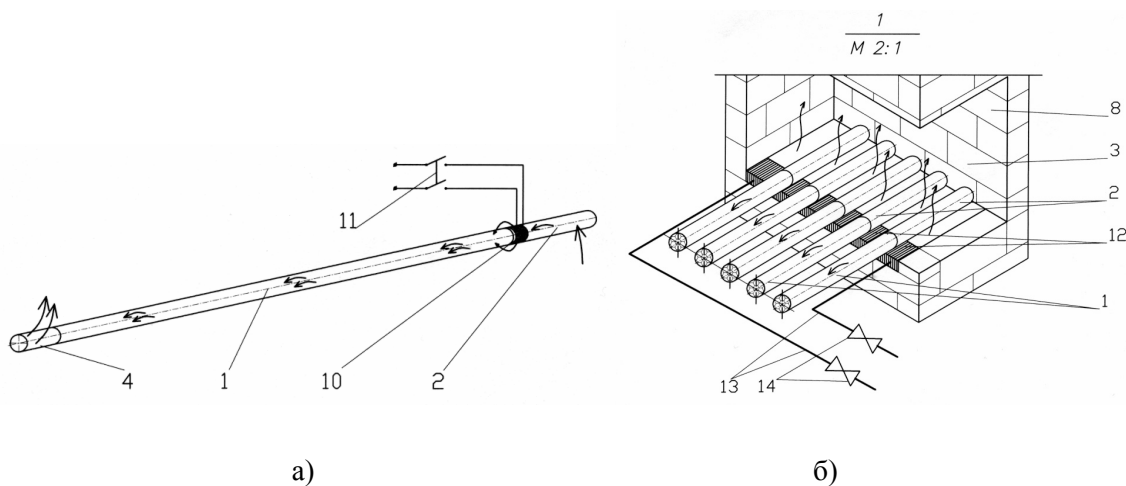


Рис. 6. а) вид одной тепловой трубы с электрическим нагревателем и отдельным включением;  
б) выноски 1 (зоны испарения ТТ с водяным теплообменником системы отопления здания):

1 – тепловые трубы (ТТ); 2 – зоны испарения ТТ; 3 – вентиляционный канал (воздуховод);  
4 – зоны конденсации ТТ; 5 – водостоки; 6 – желоб; 7 – крыша; 8 – снежные массы;  
9 – перекрытие; 10 – дополнительные теплообменники; 11 – электрический включатель;  
12 – водяной теплообменник; 13 – трубопровод; 14 – вентиль

Проще всего оборудовать зоны испарения тепловых труб электрическими нагревателями, например, в виде ТЭНов, электрических нагревательных кабелей или матов. Электронагревательные элементы могут быть прислонены к зонам испарения тепловых труб или же намотаны на них на небольшом участке зоны испарения.

Однако в случае ограниченного лимита электроэнергии можно воспользоваться теплотой горячей воды системы отопления здания. При этом под участками зон испарения тепловых труб расположен водяной теплообменник системы отопления здания, который включается отдельными вентилями на своих водяных трубопроводах. Известно, что образование сосулек происходит при положительной температуре (около  $0^{\circ}\text{C}$ ), поэтому включенный водяной теплообменник для подогрева зон испарения тепловых труб не будет нарушать теплового режима отопления здания.

При расчете устройств для предотвращения образования сосулек по [1–4] необходимо рассматривать процессы теплопередачи и теплоотдачи для обогрева открытых поверхностей. При этом на расчет оказывают влияние многие факторы, которые зачастую весьма сложно учесть. Искомой величиной является удельная тепловая мощность, необходимая для таяния выпадающих из атмосферы осадков. Количество осадков измеряют толщиной слоя жидкой воды, который мог бы образоваться после выпадения осадков на горизонтальную непроницаемую поверхность (обычно количество осадков измеряют в миллиметрах; 1 мм соответствует массе осадков 1 кг, выпавших на площадь 1 кв. м).

Интенсивностью осадков называют количество осадков, выпадающих за единицу времени (например, 1 час). В общем случае необходимую нам тепловую мощность можно определить как:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{конв}} + Q_{\text{изл}} + Q_{\text{таян}} + Q_{\text{потер}},$$

где  $Q_{\text{конв}}$  – потери тепла на конвективный теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>;  $Q_{\text{изл}}$  – потери тепла на излучение, Вт/м<sup>2</sup>;  $Q_{\text{таян}}$  – энергия, требуемая на обеспечение процесса снеготаяния, Вт/м<sup>2</sup>;  $Q_{\text{потер}}$  – неизбежные тепловые потери в адиабатной зоне ТТ и ее конденсаторе, Вт/м<sup>2</sup>.

Потери тепла на конвективный теплообмен могут быть вычислены по следующей зависимости:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha \cdot (t_{\text{поверх}} - t_{\text{возд}}),$$

где  $\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/м<sup>2</sup> • °С;  $t_{\text{поверх}}$  – температура верхнего слоя обогреваемой открытой поверхности, °С;  $t_{\text{возд}}$  – температура наружного воздуха, °С.

Коэффициент конвективного теплообмена может быть определен следующим образом:

$$\alpha = 2,26 \times (t_{\text{поверх}} - t_{\text{возд}})^{1/3} + 2,6 \times V_{\text{возд}},$$

где  $V_{\text{возд}}$  – скорость наружного воздуха.

Определение потерь тепла на излучение содержит в себе на сегодняшний день определенную эмпирическую составляющую. Для расчета может быть использована формула Больцмана:

$$Q_{\text{изл}} = 3600 \times \varepsilon \times C_0 \times [T_{\text{абс}}/100]^4,$$

где  $\varepsilon$  – степень черноты;  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,77 Вт/(м<sup>2</sup>•°С);  $T_{\text{абс}}$  – абсолютная температура, принимаемая равной 273° С.

Количество энергии, требуемое для обеспечения процесса снеготаяния, может быть разбито на две составляющие: первая необходима для нагрева снега от температуры наружного воздуха до 0° С, вторая – непосредственно для таяния снега:

$$Q_{\text{таян}} = h_{\text{сн}} \times \rho_{\text{л}} \times c_{\text{л}} \times (0 - t_{\text{возд}}) + h_{\text{сн}} \times \rho_{\text{л}} \times \lambda_{\text{л}},$$

где  $h_{\text{сн}}$  – толщина слоя снега, м;  $\rho_{\text{л}}$  – плотность льда, принимаемая равной 900 кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{л}}$  – удельная теплоемкость льда, 2,1 кДж/(кг • °С);  $\lambda_{\text{л}}$  – удельная теплота плавления льда, 330 кДж/кг.

Тепловыми потерями ( $Q_{\text{потер}}$ ) в адиабатной зоне и на обратной поверхности конденсатора ТТ в данном расчете можно пренебречь с учетом устройства, при непосредственном монтаже системы, необходимой теплоизоляции этих элементов.

Устройства для предотвращения образования сосулек по [1–4] отвечают ряду требований, предъявляемых к подобным системам и даже превосходят их:

- отсутствие энергопотребления, что существенно отличает ее от всех известных и применяемых на практике систем;
- полная бесшумность системы;
- высокая эффективность;
- промышленная применимость и относительная простота изготовления;
- относительно высокая надежность.

#### **Литература**

1. Устройство для предотвращения образования сосулек: пат. РФ № 2301311 от 20.07.2007.
2. Составное устройство для предотвращения образования сосулек: пат. РФ № 2301308 от 20.07.2007.
3. Реверсивное устройство для предотвращения образования сосулек: пат. РФ № 2301309 от 20.07.2007.
4. Комбинированное устройство для предотвращения образования сосулек: пат. РФ № 2301310 от 20.07.2007.

## **УНИФИЦИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПУНКТА СБОРА И ОБРАБОТКИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, СОПРОВОЖДАЮЩЕЙ ПРЕДВЕСТНИКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ**

**М.В. Крашенинников, кандидат физико-математических наук;**

**А.И. Глушков;**

**М.И. Алерборн.**

**Научно-технический центр «Геофизические измерения» (НТЦ ГИ),  
г. Новосибирск**

Предложено создание автономного автоматизированного комплекса, регистрирующего сейсмические, инфразвуковые и геомагнитные колебания, сопровождающие предвестники природных и техногенных катастроф с последующим превентивным определением их координат и энергий.

*Ключевые слова:* сейсмические колебания, инфразвуковые колебания, геомагнитные колебания, геофизическое поле, наземная система мониторинга, регистрация колебаний

## **THE STATION UNIFIED COMPLEX FOR DATA ACQUISITION AND PROCESSING OF GEOPHYSICAL INFORMATION ACOMPANYING NATURAL AND TECHNOGENIC DISASTERS FORERUNNERS**

M.V. Krashenninnikov; A.I. Glushkov; M.I. Alerborn.

Scientific and technical center «Geophysical measurings», Limited Liability Company (LLC),  
Novosibirsk

In this project a scientific and technical cooperation is assumed to be organized of EMERCOM of Russian and our Scientific and Technical Center «Geophysical measurings» spearheaded to create an autonomous automatized complex for registration of seismic, infrasound

and geomagnetic oscillations, that accompany natural and technogenic disasters' forerunners, in order to preventively determine their coordinates and energies. It is proposed also to discuss principles of a national on-ground system creation to monitor natural and technogenic disasters' forerunners using the results of geophysical fields continuous monitoring performed by our complexes.

*Key words:* seismic, infra-audible and geomagnetic fluctuations, geophysical space, ground-based monitoring system, fluctuations logging

Природные и техногенные катаклизмы последних лет, такие как авария на Саяно-Шушенской ГЭС, цунами в Таиланде, землетрясение на Гаити, последняя трагедия в Японии и другие, со всей очевидностью показали несостоятельность многих национальных, ведомственных и прочих систем оперативного оповещения о возникновении катастроф по их многочисленным предвестникам. Не исключение составляют и российские ведомственные службы.

Тем не менее, в настоящее время существуют все объективные предпосылки создать надёжно функционирующую систему мониторинга предвестников катастроф и превентивного оперативного принятия решений в течение нескольких секунд. Совершенно очевидно, что такая система должна быть автоматизированной и предельно надёжной, апробированной.

Прообразом такой системы могла бы послужить, например, международная система мониторинга за непроведением ядерных испытаний, принципы которой обсуждались ещё в 1996 г. в Москве [1]. В основе её лежит непрерывное глобальное наблюдение за сейсмическими, инфразвуковыми и электромагнитными геофизическими полями и обработка данных с принятием соответствующего решения как в национальных, так и в международных центрах.

Как стало известно из средств массовой информации, мониторинг за предвестниками катастроф планируется проводить из космоса, что, на взгляд авторов, представляется абсурдом: никакой связи из космоса с упоминаемыми выше полями (особенно сейсмическими и звуковыми) установить физически невозможно. Особенно это касается предвестников техногенных катастроф. Из космоса хорошо наблюдать динамику самих катастроф, но не их предвестников.

Очевидно, что создание предлагаемой системы в России невозможно ни силами организаций Академии наук РФ, ни силами какого-либо ведомства отдельно. Как нам представляется возможным, главным заказчиком и куратором при создании системы, функционирующей по строгой военной дисциплине, могло бы стать МЧС.

НТЦ ГИ со своей стороны мог бы использовать накопленный опыт по разработке и серийному производству унифицированного комплекса сбора и обработки геофизической информации пункта наблюдения (УКПН).

Алгоритмы принятия решений о наступающей катастрофе могли бы предоставить организации, посвятившие исследованию этого вопроса последние 20–30 лет. Имеются в виду институты Академии наук РФ и научно-исследовательские подразделения МЧС России. Предполагаемое оснащение УКПН новыми алгоритмами принятия решения чисто технически не представляет особых трудностей и не меняет в целом технику мониторинга, проводимую при помощи УКПН.

УКПН предназначен для приёма и преобразования в реальном масштабе времени в цифровую форму электрических сигналов от аналоговых преобразователей сейсмических, инфразвуковых сигналов, а также преобразователей возмущений геомагнитного поля. Соответствующие аналоговые преобразователи (датчики сигналов) входят в состав УКПН. Это сейсмометры, микробарографы и магнитовариационная станция.

По мнению авторов, наиболее информативный частотный диапазон геофизических сигналов, предвещающих и сопровождающих явления взрывного характера при регистрации их на большом удалении от эпицентра катастрофы, является так называемый

инфранизкочастотный диапазон (от тысячных долей до десятков герц). Именно в этом диапазоне и работает УКПН. В случае, если предвестники природных и техногенных катастроф имеют спектр выше десятков герц, то не представляет большого труда модернизировать и аналоговые датчики на входе УКПН и систему обработки информации УКПН.

УКПН и отдельные аналоговые преобразователи прошли государственные испытания. Технической документации присвоена литера О1. НТЦ ГИ аккредитован в соответствии с международной системой качества. Аналоговые преобразователи и УКПН могут быть установлены в любой точке мира вне зависимости от климатических условий.

НТЦ ГИ способен выпускать УКПН, в состав которого входит также аналоговый датчик электромагнитных колебаний предвестников катастроф в радиодиапазоне. Планируется разработать и серийно выпускать свой радиоприёмник специального типа.

Не исключается также использовать в УКПН вместо аналоговых сигналов датчиков для первичной регистрации предвестников катастроф информацию об аномальном поведении подопытных групп животных, птиц, насекомых и многое другое, что подлежит совместному обсуждению.

Ниже приводятся технические характеристики продукции НТЦ ГИ.

### **Технические характеристики УКПН**

УКПН обеспечивает выполнение следующих функций:

- непрерывный прием и преобразование в цифровую форму сигналов (непрерывной геофизической информации (НГИ) от датчиков сейсмических, акустических и магнитных колебаний в соответствии с разработанными методами мониторинга за предвестниками катастроф;
- привязку результатов регистрации к единому времени с помощью сигналов космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS;
- автоматическую (в реальном масштабе времени) и диалоговую (с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора) первичную обработку геофизической информации;
- хранение НГИ, результатов ее первичной обработки и протоколов работы комплекса в кольцевом архиве на жестком магнитном диске;
- передачу НГИ, результатов первичной обработки и дополнительной информации (служебных сообщений) локальным и удаленным потребителям;
- контроль функционирования и определение характеристик каналов регистрации;
- документирование (распечатку на принтере и копирование на гибкие магнитные и лазерные диски) фрагментов НГИ, результатов первичной обработки и протоколов работы комплекса по командам оператора пункта наблюдения (ПН);
- обеспечение бесперебойного электропитания УКПН и датчиков;
- обеспечение контроля несанкционированного доступа к оборудованию и системным ресурсам УКПН и безопасности функционирования комплекса.

### **Содержание и качество выполнения основных функций**

Преобразование непрерывной геофизической информации:

- число каналов регистрации (определяется при заказе поставки) – от 1 до 12 (с мультиплицированием каналов аналого-цифровые преобразователи (АЦП) – от 2 до 24);
- разрядность АЦП – 24;

- частота квантования – от 10 до 300 Гц (устанавливается программно, возможно расширение по желанию заказчика);
- диапазон амплитуд измеряемых напряжений – до  $\pm 2,5$  В (без делителей) и до  $\pm 15$  В (с делителями);

- коэффициент усиления сигналов – 1, 2, 4, ... 64 (устанавливается программно);
- динамический диапазон при частотах квантования – до 40 Гц, не менее 120 дБ;
- входное сопротивление измерительных каналов (без делителей) – более 1 МОм;
- время готовности регистратора сигналов к работе после включения – не более 3 мин.

Привязка измерений к единому времени:

- режимы привязки системного времени: основной – автоматический от сигналов космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS, резервный – ручной по команде оператора;

- погрешность привязки измерений к единому времени при синхронизации от сигналов ГЛОНАСС/GPS – единицы мс;

- уход шкалы таймера АЦП при отсутствии синхронизации от сигналов ГЛОНАСС/GPS – не более 300 мс в сутки;

- шкала единого времени: московское время или универсальное мировое время (устанавливается программно).

Первичная обработка информации:

- автоматическая в реальном масштабе времени первичная обработка информации включает: фильтрацию НГИ, предварительное обнаружение и расчет параметров сейсмических, акустических и магнитных сигналов (объем и параметры первичной обработки информации устанавливаются программно); оперативность выдачи сообщений с параметрами сигналов в канал связи – 1–120 секунд;

- средства диалоговой обработки информации обеспечивают (параллельно с автоматической работой): просмотр в графической форме НГИ из входного буфера и из архива до и после фильтрации (с возможностью масштабирования), детектирование, спектральный и поляризационный анализ, расчет параметров сигналов;

- фильтрация НГИ может производиться фильтрами низких частот (НЧ), высоких частот (ВЧ) и полосовыми (в том числе режекторным) по Баттерворту с параметрами, устанавливаемыми программно; предусмотрена возможность использования фильтров других типов;

- обнаружение сигналов осуществляется с помощью детекторов с параметрами, устанавливаемыми программно; предусмотрена возможность использования детекторов различных типов.

Длительность автономного хранения информации:

- в кольцевом архиве на жестком магнитном диске: НГИ – не менее 60 суток, результатов первичной обработки НГИ и протоколов работы комплекса – не менее 60 суток (размер архива регулируется программно, максимальное значение определяется по желанию заказчика при заказе поставки).

Передача информации потребителям:

- по протоколам передачи геофизической информации, согласованным с конкретным заказчиком комплекса.

Средства передачи информации:

- локальным потребителям – с помощью оборудования ЛВС типа Ethernet, удаленным потребителям – через сетевой маршрутизатор по стыку Ethernet либо по выделенному или коммутируемому каналу связи с помощью модема; предусмотрена возможность использования в необходимых случаях радио- и оптоволоконных средств удлинения линий Ethernet.

Форматы представления данных согласуются с конкретным заказчиком комплекса.

Объемы передаваемой информации (число каналов регистрации, дискретность данных, число адресатов) – может устанавливаться программно с учетом реальной пропускной способности каналов связи.

Подсистема контроля каналов регистрации обеспечивает проверку функционирования каналов регистрации и определение их амплитудно-частотных и неидентичности фазово-частотных характеристик в автоматическом режиме (по таймеру) и по команде оператора УКПН или центра обработки данных (в случае мониторинга предвестников катастроф). Диапазон амплитуд и частот контрольных сигналов:  $0... \pm 5$  В и 0,0001 Гц, 1 кГц.

Подсистема мониторинга состояния объекта обеспечивает подачу аварийных сигналов на АРМ оператора УКПН и в центр о вскрытии двери приборного сооружения, отключениях сетевого электропитания, неисправностях источника бесперебойного питания (ИБП), а также об опасных температурах в приборном сооружении и приборном корпусе (состав функций подсистемы контроля определяется по желанию заказчика при заказе поставки).

Электропитание комплекса осуществляется от промышленной сети переменного тока 220 (110) В, 50 (60) Гц, через ИБП. Продолжительность автономной работы в отсутствие сетевого напряжения не менее 30 мин. (максимальное значение времени автономной работы определяется по желанию заказчика при заказе поставки).

Потребляемая мощность (без учета калорифера термостата) – не более 300 Вт, в том числе для регистратора геофизических сигналов – не более 100 Вт (потребляемая мощность калорифера термостата – до 300 Вт).

Для обеспечения повышенной стойкости к электромагнитным помехам предусмотрена возможность комплектации УКПН средствами грозозащиты сигнальных линий (необходимость определяется заказчиком при заказе поставки).

### **Характеристики надёжности**

Комплекс может функционировать непрерывно и круглосуточно. Оборудование комплекса является ремонтируемым и восстанавливаемым.

Коэффициент готовности – не менее 0,99.

Средняя наработка на отказ – не менее 10000 часов.

Срок службы комплекса – 10 лет.

Срок сохраняемости – не менее 3 лет.

Гарантийный срок – 1 год.

### **Состав комплекса**

УКПН включает в себя следующие основные составные части:

- регистратор сигналов на базе промышленной IBM/PC совместимой ПЭВМ;
- автоматизированное рабочее место оператора на основе IBM/PC совместимой ПЭВМ;
- первичные преобразователи (датчики) сигналов: сейсмического, инфразвукового, магнитного и других геофизических сигналов, производимых, в частности, НТЦ ГИ;
- эксплуатационная документация;
- запасные изделия и приборы (ЗИП).

Общий вид УКПН в операционном зале представлен на рис. 1 и 2, АРМ оператора на рис. 3. Фактически УКПН устанавливается в специально отведённом месте по соответствующей инструкции, а АРМ в операционном зале пункта наблюдения.

Ниже приводены основные технические характеристики аналоговых преобразователей УКПН, которые могут функционировать и без цифровой части УКПН, используя обычную регистрирующую аппаратуру (самописцы и пр.)





**Рис. 1. УКПН в операционном зале**



**Рис. 2. Цифровой регистратор сигналов УКПН**



Рис. 3. АРМ оператора

### Технические характеристики сейсмоприемников скважинных трехкомпонентных

Сейсмоприёмники предназначены для приема сейсмических колебаний Земли по вертикальной и двум горизонтальным компонентам и преобразования этих колебаний в электрические сигналы. Все сейсмоприёмники маятникового типа.

1. Рабочий диапазон частот преобразования скорости сейсмических колебаний от 0,02 до 40 Гц. Спад амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) на краях рабочего диапазона относительно опорной частоты 5 Гц при сопротивлении нагрузки не менее 10 кОм не превышает 3 дБ.

2. Коэффициент преобразования сейсмоприемников по каждой компоненте в диапазоне частот от 0,05 до 16 Гц равен  $5000 \pm 10\%$  В·с/м.

3. Коэффициент гармоник выходного сигнала не более 5 %.

4. Неидентичность фазочастотных характеристик (ФЧХ) сейсмоприемников X, Y и Z компоненты не более 3-х угловых градусов.

5. Порог чувствительности в полосе частот от 0,02 до 16 Гц не превышает минус 10 дБ от минимального уровня микросейсмического шума (модель Петерсона).

6. Период собственных колебаний маятников  $2,0 (^{-0,1}/_{+0,5})$  с.

7. Коэффициент преобразования калибровочных катушек на частоте 5 Гц равен  $7,5 \pm 20\%$  В·с/м.

8. Рабочий диапазон температуры сейсмоприемников от минус 40 до плюс 50° С.

9. Сейсмоприемники сохраняют свои характеристики при относительной влажности воздуха 98 % при температуре 30° С.

10. Габаритные размеры сейсмоприемников не более: длина 1500, диаметр 105 мм.

11. Масса сейсмоприемников не превышает 70 кг.

12. Сейсмоприемник снабжен устройством контроля положения маятника по каждой компоненте и установки его в рабочее положение.

13. Конструкция сейсмоприемника содержит устройства для регулирования периода собственных колебаний маятника каждой компоненты.

Внешний вид сейсмоприёмника представлен на рис. 4.



Рис. 4. Сейсмоприемник в системе установки в скважину

### **Технические характеристики датчика инфразвука (микробарометра)**

Датчик инфразвука (микробарометр) мембранного типа конструктивно состоит из преобразователя первичного (механическая часть) и преобразователя вторичного (предварительный усилитель), собранных в цилиндрическом корпусе.

Первичный преобразователь осуществляет преобразования акустического давления на входе микробарографа в смещения мембраны относительно неподвижного электрода. В мембранном узле присутствует капилляр, осуществляющий фильтрацию низких частот.

Вторичный преобразователь преобразует изменение емкостного сопротивления конденсатора, состоящего из неподвижного электрода и смещающейся относительно него мембраны первичного преобразователя, в электрический сигнал.

Микробарометр снабжён контрольным устройством, позволяющим оперативно определять исправность микробарометра, звуководом и другими традиционными для инфразвуковой техники устройствами и приспособлениями.

1. Рабочий диапазон частот микробарометра от 0,02 до 4,0 Гц.

2. Максимальная амплитуда преобразуемого давления не менее 100 Па.

3. Среднее квадратическое значение приведенного ко входу собственного шума в рабочем диапазоне частот не более 0,001 Па.

4. Коэффициент преобразования микробарометра в нормальных климатических условиях  $80 \pm 20$  мВ/Па.

5. Отклонение чувствительности от среднего значения в рабочем диапазоне частот не более 5 %.

6. Отклонение чувствительности в рабочих условиях эксплуатации от значения, вычисленного через функцию влияния температуры не более 5 %.

7. Неидентичность фазочастотных характеристик микробарографов, находящихся в одинаковых условиях, в рабочем диапазоне частот не более 1,0 градуса.

8. Режим работы – круглосуточный.

9. Напряжение питания от стабилизированного источника питания  $\pm(12 \pm 1\%)$  В.

10. Потребляемая мощность не более 2,5 В·А.

11. Микробарометр обеспечивает работу на кабельную линию связи длиной до 300 м и на активную нагрузку не менее 10 кОм.

12. Микробарометр обеспечивает среднюю наработку на отказ при доверительной вероятности 0,9 не менее 12000 часов.

13. Назначенный срок службы не менее 8 лет.

14. Габаритные размеры микробарографа: диаметр не более 100 мм, высота не более 300 мм, масса микробарометра не более 5 кг.

С целью метрологической аттестации микробарометров, расположенных в различных пунктах наблюдения, НТЦ ГИ разработал и производит автоматизированную установку, предназначенную для определения частотной характеристики чувствительности приемников акустического давления в диапазоне инфранизких частот.

Внешний вид микробарометра представлен на рис. 5.

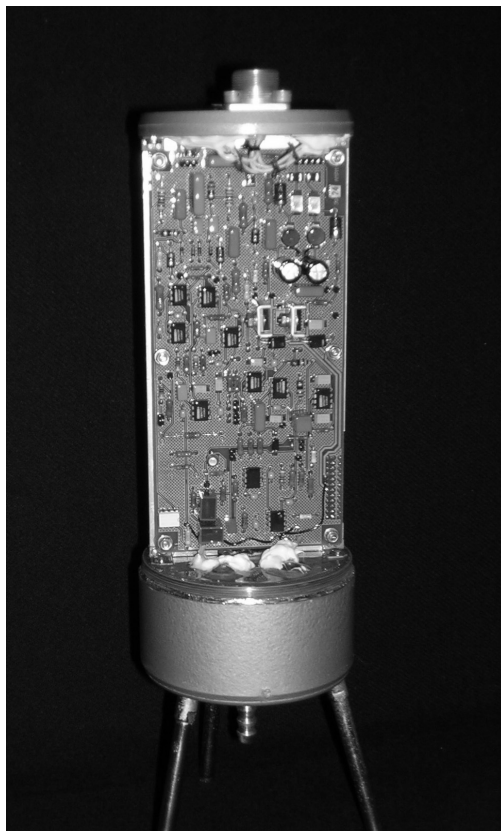


Рис. 5. Микробарометр без защитного кожуха

## Технические характеристики датчика вариаций геомагнитного поля (магнитовариационной станции)

Принцип действия станции – индукционный и заключается в преобразовании вектора переменной магнитной индукции в электрическое напряжение с помощью трёх ортогонально расположенных датчиков магнитной индукции.

Каждый датчик представляет собой индукционный измерительный преобразователь в виде многовиткового контура (катушки), содержащего сердечник с высокой магнитной проницаемостью.

Конструктивно магнитная станция представляет собой три идентичных индукционных датчика X, Y, Z компоненты магнитной индукции с электронным блоком и поворотную платформу, служащую для ориентации датчиков в пространстве. Электронный блок обеспечивает постоянное значение коэффициента преобразования в рабочей полосе частот, которое формируется с помощью усилителя, подключенного к выходу измерительной катушки и частотно-зависимой цепи отрицательной обратной связи по магнитному полю, создаваемому специальной катушкой, подключенной к выходу усилителя.

1. Рабочий диапазон частот магнитной станции от 0,01 до 20 Гц. Спад АЧХ на краях рабочего диапазона относительно базовой частоты 1 Гц не более 3 дБ.

Возможны модификации станции с рабочими диапазонами частот 0,0001–300 Гц, 1–100000 Гц, 0,1–10000 Гц по договорённости с заказчиком.

2. Порог чувствительности станции до  $1 \cdot 10^{-7}$  нТл/Гц<sup>1/2</sup>.

3. Среднее квадратическое значение приведенного ко входу собственного шума датчиков в диапазоне частот от 0,02 до 20 Гц не более 0,01 нТл.

4. Среднее по частоте значение коэффициента преобразования датчиков X, Y, Z компоненты в диапазоне частот от 0,02 до 16 Гц в нормальных условиях применения в пределах  $(4,0 \pm 1)$  мВ/нТл.

5. Коэффициент подавления поперечной помехи датчиком не менее 40 дБ.

6. Отклонение коэффициента преобразования каждого датчика от среднего значения в диапазоне частот от 0,02 до 16 Гц (неравномерность АЧХ) не более  $\pm 10\%$ .

7. Неидентичность ФЧХ между индукционными датчиками X, Y, Z компоненты, находящихся в одинаковых условиях, в рабочем диапазоне частот от 0,02 до 16 Гц не более 3-х угловых градусов.

8. Станция обеспечивает работу на кабельную линию связи длиной до 150 м и активную нагрузку не менее 50 кОм.

9. Станция сохраняет свои характеристики в диапазоне температур окружающего воздуха от минус 50° С до плюс 50° С (рабочие условия применения).

10. Отклонение коэффициента преобразования станции в рабочих условиях применения от значения, вычисленного через функцию влияния температуры, не более  $\pm 5\%$ .

11. Режим работы – круглосуточный.

12. Напряжение питания  $\pm(12^{+20\%}/_{-10\%})$  В.

13. Станция снабжена контрольным устройством, обеспечивающим проверку функционирования сквозного тракта по каждой компоненте.

14. Потребляемая мощность не более 12 В·А.

15. Средняя наработка на отказ изделия не менее 45000 часов.

16. Срок службы станции не менее 10 лет, при соблюдении правил эксплуатации в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

17. Габаритные размеры станции (без соединительных кабелей) не более 800х800х800 мм.

18. Масса станции не более 80 кг (без соединительных кабелей). Масса индукционного датчика не более 12 кг.

Внешний вид магнитовариационной станции представлен на рис. 6.

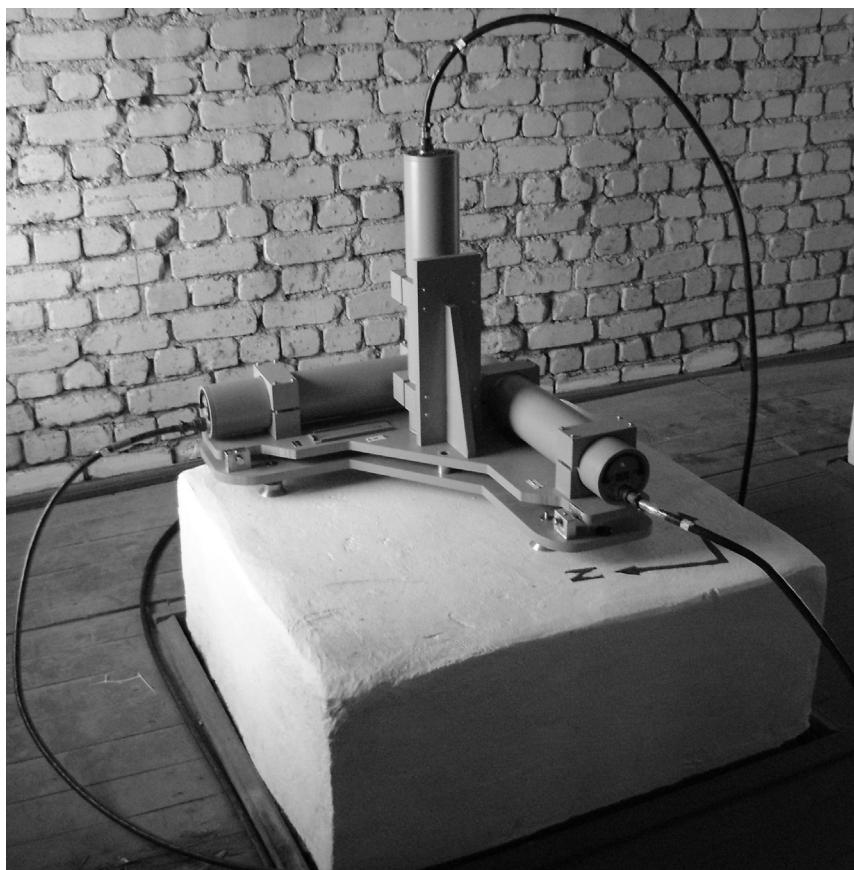


Рис. 6. Магнитовариационная станция

### **Литература**

1. Технологии мониторинга Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Роль и место национальных центров данных в международной системе мониторинга: материалы Междунар. конф. М., 1996 .



---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОЙ РАЗМЫТОЙ КЛАССИФИКАЦИИ В АНАЛИТИЧЕСКОМ ПРОФЕССИОГРАФИРОВАНИИ

**С.А. Багрецов, доктор технических наук, доктор экономических наук,  
профессор.**

**Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург.**

**В.В. Попов, кандидат военных наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены системно-аналитический подход и некоторые принципы при составлении аналитической профессиограммы, а также математический метод многомерного размытого классификатора для обработки данных при проведении профессиографических исследований, что в целом позволяет сформировать адекватную модель должности и рассматриваемого на неё сотрудника с учётом нечётких исходных данных, а также неполного набора показателей.

*Ключевые слова:* показатели компетентности, аналитическая профессиограмма, многомерный размытый классификатор, нечёткие данные

## APPLICATION OF METHODS OF MULTIDIMENSIONAL FUZZY CLASSIFICATION IN ANALYTIC PROFESSIOGRAPHY

S.A. Bagrecov. Military-space academy of the name of A.F. Mozhaisky, Saint-Petersburg.

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

In this article consider system-analytical and some principles in composition of analytical profессиogram and also mathematical methods multidimensional fuzzy classification for editing information in holding job analysis. To sum up, it allows to form adequate model of position and officer concerned on it in consideration of indistinct basic information and not full collection of indexes.

*Key words:* indexes of competence, analytical profессиogram, multidimensional fuzzy classification, indistinct information

Проведение профессиографических исследований для подготовки сотрудников МЧС России сопряжено с рядом трудностей, связанных с непосредственным практическим применением полученных результатов, а также выбором математических методов для обработки этих результатов. В частности, вызывает определённую сложность учёт

взаимосвязей отдельных показателей компетентности в аналитической профессиограмме, а также нечёткий (а в ряде случаев неполный) набор показателей этой профессиограммы.

За основополагающий признак при аналитическом профессиографировании берется уровень компетентности специалиста, как фактор сопряжения системы «человек–профессия». В данном случае компетентность рассматривается как уровень компетенции (от лат. *Competo* – добиваюсь, соответствую, подхожу).

Для оценки компетентности необходимо построить «идеальные модели» аналитических профессиограмм в целом по профессии, специальности, конкретной должности, конкретной специализации, как для обычных условий профессиональной деятельности, так и для субэкстремальных и экстремальных условий с учетом специфики профессии. Затем необходимо построить «реальные модели» аналитических профессиограмм на основе анализа нормативно-правовых документов, конкретных функциональных обязанностей, с помощью наблюдения, на основе анализа документов с применением контент-анализа и экспертной оценки. Кроме этого необходимо выявить зависимость между объемом выполняемых профессиональных ролевых требований (служебных обязанностей) и уровнем компетентности, позволяющим обеспечить реализацию профессиональных задач с достаточной для практики надежностью, эффективностью и качеством.

Системно-аналитический подход позволяет четко сформулировать основные требования к оценке компетентности: для идентификации необходимой компетенции и прогноза сопряжения той или иной компетенции с конкретной должностью необходим многомерный набор показателей, достаточный для оценки компетентности. Такой набор показателей определяется путем анализа компетентности наиболее успешных специалистов по конкретной должности.

Одним из подходов для оценки компетентности является матричное описание пространства состояний системы «компетентность–профессия», для анализа образов. Такое описание должно включать вероятность многосвязного сопряжения «компетентность – профессия» и, следовательно, должно содержать полипараметрическую характеристику, поскольку качество сложных динамических систем, а система «компетентность–профессия» является именно таковой, может сохраняться и при некоторых изменениях ее элементов и даже при разрушении ее части, если не нарушается сущность основных процессов в системе. Одной из главных характеристик сложных систем, как известно, является характеристика связей между подсистемами, а рассогласование системы со средой, прежде всего, состоит в изменении или разрушении прежних связей.

Для анализа состояния системы можно использовать информационную модель на основе вероятностных и организационных характеристик матричного описания пространства состояний образованными полиметрическими характеристиками. Наиболее эффективными при этом оказываются информационные модели взаимосвязи уровней компетенций и профессионально важных качеств специалистов, а также взаимосвязи отдельных видов компетенции между собой. При этом выявление характеристик взаимосвязей указанных показателей и видов компетенции может быть осуществлено на основе корреляционного анализа (например, путем вычисления коэффициентов корреляции Спирмена) либо на основе расчета коэффициентов значимости парных эффектов параметров ПВК и уровней компетенции в системах интегральной оценки компетенции специалистов, являющихся претендентами на ту или иную должность. Исследования динамики изменений этих моделей дают возможность оценить характер адаптационного процесса специалиста к должности, и как следствие, рационально распределить имеющиеся ресурсы. Энтропию матриц, характеризующих динамику структуры системы «компетентность – профессия» от обычных до экстремальных условий профессиональной деятельности, предлагается рассчитывать по формулам:

$$H = K * \ln W ,$$



где  $H$  – энтропия системы;  $K$  – постоянная Больцмана равная  $1,38 \cdot 10^{-16}$ ;  $W$  – термодинамическая вероятность.

При числе сочетаний из  $n$  по  $m$ :

$$W = C_n^m = n! / m!(n - m),$$

$n$  – число всех возможных связей между элементами системами;  $m$  – число значимых связей в матрице.

Характеристика связей в матрице устанавливается на основании экспертной оценки или на основании когнитивного моделирования.

Расчет организации системы проводится по формуле:

$$R_s = \varphi * \delta$$

где  $R_s$  – организация системы;  $\varphi$  – средняя сила связи в системе, эквивалентная средней надежности связи;  $\delta$  – сложность модели.

$$\text{При этом } \delta = 2m/n \text{ и } \varphi = \sum_{i=1}^N |r_i| / N,$$

где  $r_i$  – характеристика силы (веса) признака, взятая по модулю.

Сущность полипараметрических методов в аналитической профессиограмме состоит в определении показателей системы «компетентность–профессия», матричном описании состояний системы, анализе состояний системы на основе информационной модели, использовании методов распознавания образов и классификаций для анализа полученных данных. При этом используется унифицированный набор характеристик компетенций.

1. Технологические служебные задачи. Общей служебной задачей является обеспечение следующих видов мероприятий: правовых, организационных, экономических, финансовых, материально-технических, социальных, экологических. Собственно профессиональная деятельность (функциональные служебные обязанности): планирование текущее, планирование тактическое, планирование стратегическое, организация и координация внутреннего и внешнего взаимодействия, управление финансовыми ресурсами, управление материально-техническими ресурсами, управление кадровыми ресурсами, организация и проведение постоянного мониторинга процессов решения технологических задач подчиненными подразделениями (организация обратной связи, контроль), организация и проведение информационно-аналитического обеспечения управленческой деятельности (информационный менеджмент), самостоятельная профессиональная опережающая подготовка, переподготовка в плановом порядке.

2. Коммуникативные задачи (организация и обеспечение передачи управленческой информации): прямая передача (устный приказ), опосредованная передача (использование технических средств связи и современных информационных технологий), характер передачи информации односторонний, характер передачи двусторонний.

Деловое общение (взаимный обмен сообщениями, межличностный или групповой процесс): обмен усвоенной информацией, суждениями, оценкой.

3. Условия выполнения функциональных задач:

- выполнение функциональных задач в условиях микроклимата, близких к бытовым (в залах управления, стационарных сооружениях, штабах, ангарах и т.д.);
- выполнение функциональных задач на открытом воздухе и в любую погоду;

- выполнение функциональных обязанностей в необычных условиях (вероятность определяется в зависимости от реальных условий профессиональной деятельности и согласно тактическим и стратегическим планам);
- выполнение функциональных обязанностей без специальных средств автоматизации обеспечения деятельности;
- выполнение функциональных обязанностей со специальными индивидуальными средствами автоматизации деятельности;
- выполнение функциональных обязанностей с автоматизированными средствами обеспечения деятельности (автоматизированные рабочие места, ПЭВМ и т.д.);
- выполнение функциональных задач осуществляется в полипрофессиональном коллективе;
- выполнение функциональных задач осуществляется в монопрофессиональном коллективе;

#### 4. Психологическая характеристика задач (компетентность).

Сверхкомпетентность – должность сопряжена с интенсивными потоками управленческой информации, постоянным мониторингом процесса решения технологических задач подчиненными подразделениями, с необходимостью принятия самостоятельных решений.

Интеллектуальная – должность сопряжена с выполнением технологических служебных задач в условиях неопределенности.

Профессиональная – уровень профессиональной подготовки, опыт работы, классность.

Личностная – должность сопряжена с выполнением психолого-педагогической работы, функциональные обязанности выполняются в системе «человек-человек», функциональные обязанности выполняются в системе «человек-техника».

Межличностная – должность требует реализации эффективных психотехнологий взаимодействия с подчиненными.

Рефлексивная – должность требует оценки эффективности взаимодействия с подчиненными, планирования взаимодействия с подчиненными, прогнозирования реакций подчиненных на управленческое решение.

Социальная – должность требует систематической реализации социальных технологий, системной гуманитарной подготовки, высокого уровня толерантности (уважение к различным национальным культурам, мировоззрению других, другому вероисповеданию), соединения социальных знаний и ценностного понимания социальной действительности.

Экологическая – должность требует выполнения мероприятий в области психоэкологии (противодействие технологиям манипулирования сознанием), выполнения природоохранных мероприятий.

Принципиально новым в аналитической профессиографии является системно-симметричный подход к определению и оценке соотношений признаков, которые выступают как новые профессиографические элементы. Сжатие многомерных данных и их визуализация позволяют провести поэлементный анализ и дать комплексную оценку системы «компетентность–профессия».

Иерархическая свертка этих показателей и их последовательный поэтапный анализ позволит выявить отдельные упущения в подготовке специалистов, что в дальнейшем позволит скорректировать программы обучения в целях повышения определённых видов компетенций обучаемого.

Используя критерий разнообразия, как характеристики элементов множества (как правило конечного), получаем величины отличия признаков друг от друга или величины несовпадения. Графически это можно представить так: окружность – это идеальная профессиограмма, по величинам несовпадения строится реальная профессиограмма. Показатель имеет движение от 1 до 0 (рис. 1).

Вполне понятно, что визуальный образ профессиограммы должен включать весь унифицированный набор показателей, принятый в аналитической профессиографии (АП).

В свою очередь данные, входящие в состав АП, могут иметь разнородный и разнообразный характер, то есть могут быть представленными числовыми характеристиками, диапазонами чисел, предложениями естественного языка, в том числе иметь и нечёткий или вероятностный характер, то оценить соответствие обучаемого и должности возможно только с использованием экспертного подхода к получению и обработке исходных данных, поскольку при таком подходе вводится понятие нечёткости или неточности информации, свойственное суждению каждого эксперта.

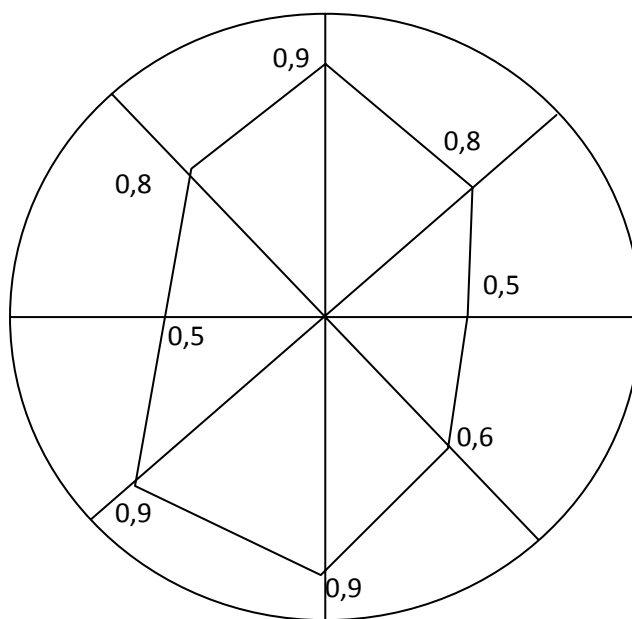


Рис. 1. Пример диаграммы соответствия уровней компетенций специалиста требованиям должности

Наличие в аналитической профессиограмме латентных показателей, которые не имеют явной зависимости от других показателей, однако могут оказать существенное влияние на описание той или иной должности, также требуют учёта при подготовке специалистов МЧС. Это обстоятельство указывает на то, что при анализе АП, необходимо соблюдать принцип целостности данных (то есть отдельные показатели профессиограммы не могут дать общей картины, характеризующей должность или кандидата). Кроме того, совокупность показателей АП обладает свойством критериальности (поскольку очевидно, что должности с более низкими требованиями соответствуют показатели с меньшими значениями, нежели должности более высокого уровня).

Помимо этого необходимо учитывать иерархический характер взаимосвязи отдельных параметров АП.

Учитывая указанные особенности, а также возможный нечеткий характер параметров описания основных элементов структурного представления аналитических профессиограмм должностей, для их идентификации необходимо использовать специализированные средства, позволяющие решать задачи классификации нечетких (именно нечёткость исходной информации является важной особенностью задач подобного типа), сложноструктурируемых образов.

Анализ научно-технической и специальной литературы по проблемам выработки решения о соответствии кандидата должности с использованием интеллектуальных систем показал, что единого подхода к разработке таких систем пока не существует, а традиционные методы распознавания и классификации объектов и реализованные на их основе известные методы имеют ряд недостатков:

- отсутствует учет неопределенности обрабатываемой информации об исследуемых объектах и воздействующих дестабилизирующих факторах;
- не учитываются особенности многоцелевого характера принимаемых решений о классификации объекта;
- большинство подходов к разработке интеллектуальных систем базируется на частных моделях контроля компонентов исследуемых объектов;
- при дальнейшей разработке и сопровождении программных средств, реализующих данные методики, необходимо постоянное участие разработчиков программного обеспечения автоматизированных систем в связи со сложностью процесса коррекции параметров алгоритмов классификации объектов при изменении условий классификации.

В определенной мере последний недостаток отсутствует у продукционных экспертных систем в связи с простотой и наглядностью процедуры модификации продукционных правил, а также благодаря использованию коэффициента доверия.

Вместе с тем использование продукционных экспертных систем для решения задач распознавания имеет существенные ограничения вследствие невозможности классификации объектов с иерархической структурой, характеризующихся нечеткими признаками и представляемых в форме целостных образов.

Анализ литературы по этому вопросу показывает, что наиболее эффективным средством решения подобных задач могут стать методы многомерной размытой классификации [1–4]. Основными принципами их построения являются следующие:

- принцип концептуальной кластеризации, утверждающий принципиальную возможность конечной классификации подобных объектов путем построения разделяющей поверхности во множестве параметров объектов обучающей выборки, при которой обеспечивается максимальное совпадение заданной экспертами системы отношений между объектами обучающей выборки;
- принцип многомерного шкалирования, определяющий особую процедуру определения из множества объектов обучающей выборки эталонного объекта, относительно которого должна строиться шкала классификации;
- принцип приведения разнородных параметров к однородному виду путем применения комплекса методик оценки расстояний между однородными параметрами. При этом в качестве параметров описания могут рассматриваться следующие: распределенные числовые и качественные характеристики, строковые образы, логические конструкции, предложения естественного языка и т.д.

Таким образом, учет нечеткости исходной информации позволяет учесть широкий спектр факторов, реально воздействующих на процессы классификации объектов разнообразной физической природы.

Рассмотрим предложенный подход на примере соответствия подготовки двух обучаемых рассматриваемой для них должности. Предположим, что подготовка осуществляется по следующим дисциплинам (введём также предположение, что реализация предложенного учебного плана позволяет развить в обучаемых необходимые уровни компетенции). Перечень предметов подготовки представлен в табл. 1.

Таблица 1. Перечень предметов подготовки

Название дисциплины	Вес дисциплины	Номер дисциплины
Материаловедение и технология материалов	0,226652	14
Надёжность технических систем и техногенные риски	0,213137	13
Государственный пожарный надзор	0,18532	8
Теория горения и взрыва	0,070759	4
Пожарная техника	0,060941	2
Подготовка газодымозащитника	0,053416	3
Физическая подготовка	0,034418	6
Пожарная тактика	0,034353	1
Противопожарное водоснабжение	0,024855	11
Пожарно-строевая подготовка	0,024855	12
Здания и сооружения и их устойчивость при пожарах	0,024696	5
Гидравлика	0,020349	10
Теплотехника	0,014041	9
Механика	0,012209	7

Веса каждой из дисциплин были получены на основании мнения экспертов по методу иерархий Саати. Для этого экспертами была сформирована согласованная матрица предпочтений (табл. 2), на основании которой были получены значения весов предметов подготовки  $a_i$  по следующему выражению:

$$a_i = 1 / N \frac{\sum_j W_{i,j}}{\sum_j W_{j,i}}, \quad i, j = \overline{1, 14},$$

где  $i$  и  $j$  – номера столбцов и строк матрицы предпочтения;  $N$  – нормирующий коэффициент равный  $\sum_i a'_i, i = \overline{1, 14}$ .

Таблица 2. Матрица предпочтений

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0,333	1	1	5	1	5	0,2	5	1	0,333	1	0,2	0,143
2	3	1	1	1	3	1	3	0,2	3	3	3	3	0,333	0,2
3	1	1	1	1	3	1	3	0,333	3	1	1	1	0,333	1
4	1	1	1	1	1	1	3	0,333	3	3	3	3	1	0,333
5	0,2	0,333	0,333	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	0,2	0,333
7	0,2	0,333	0,333	0,333	1	0,333	1	1	1	1	1	0,333	0,333	0,333
8	5	5	3	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1
9	0,2	0,333	0,333	0,333	1	1	1	0,333	1	1	1	1	0,333	0,333
10	1	0,333	1	0,333	1	1	1	0,333	1	1	1	1	0,333	0,333
11	3	0,333	1	0,333	1	1	1	0,333	1	1	1	1	0,333	0,333
12	1	0,333	1	0,333	1	1	3	0,333	1	1	1	1	0,333	0,333
13	5	3	3	1	1	5	3	1	3	3	3	3	1	1
14	7	5	1	3	1	3	3	1	3	3	3	3	1	1

По указанным предметам подготовки рассматриваемые обучаемые имели следующие оценки (табл. 3).

Таблица 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Обучаемый 1	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4
Обучаемый 2	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3
Эталон	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	5

С 1–14 в табл. 2 и 3 указаны номера дисциплин.

Графически данные профили можно представить в следующем виде (рис. 2).

Для расчёта степени похожести профилей использовался метод расчёта расстояний на основе коэффициента Кендала, в свою очередь для оценки соответствия уровня подготовки – классический метод Хэмминга. Таким образом, рассчитанные значения коэффициентов Кендала ( $d_{кенд}$ ) и Хэмминга ( $d_{хэм}$ ), с учётом полученных весовых коэффициентов, имеют следующие значения:

	$d_{кенд}$	$d_{хэм}$
Кандидат 1	0,48	0,453668
Кандидат 2	0,68	0,30174

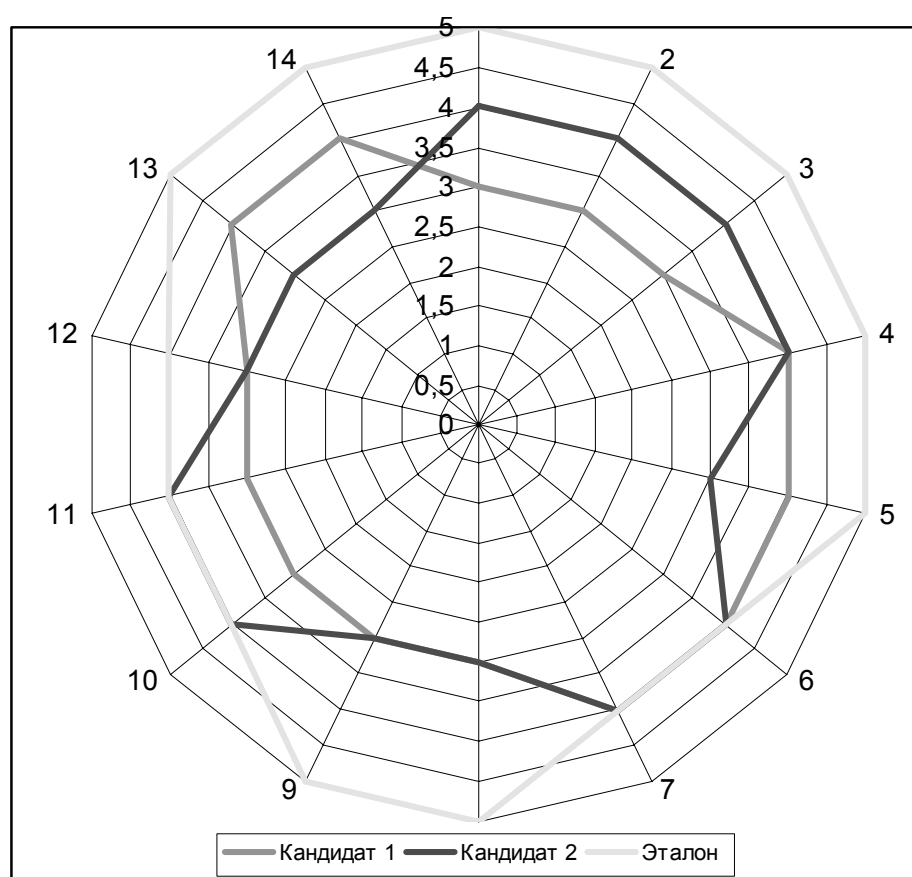


Рис. 2. Рассматриваемые профили кандидатов и эталонного профиля должности

Таблица 4. Обучающая выборка

Значения коэффициентов подобия		Классы соответствия должности		
$d_{кенд}$	$d_{хэм}$	1	2	3
0	0	1	0	0
0,2	0,05	0,7	0,3	0
0,25	0,25	0,65	0,35	0
0,3	0,3	0,6	0,4	0
0,35	0,5	0,4	0,5	0,1
0,55	0,7	0,2	0,65	0,15
0,75	0,75	0,1	0,3	0,6
0,8	0,95	0	0,15	0,85
0,85	1	0	0	1
1	1	0	0	1

Таблица 5. Значения центров классов

Уровень нечеткости	Значения центров классов		
	1	2	3
0,0	0,076	0,366	0,878
0,1	0,076	0,366	0,878
0,2	0,076	0,366	0,878
0,3	0,076	0,366	0,878
0,4	0,076	0,366	0,878
0,5	0,076	0,366	0,878
0,6	0,076	0,366	0,878
0,7	0,045	0,199	0,501
0,8	0,045	0,199	0,501
0,9	0,045	0,199	0,501

Для работы классификатора выделено три класса соответствия рассматриваемой должности: полное сходство (1), относительное сходство (2), полное несовпадение (3).

Обучающая выборка для нечеткой классификации соответствия рассматриваемой



должности приведена в табл. 4, а в табл. 5 и 6 представлены результаты расчета параметров шкалы классификации. Как и в предыдущем примере, данные, представленные в обучающей выборке по критерию Стьюдента, являются непротиворечивыми, с доверительной вероятностью  $P=0,95$ .

Таблица 6. Веса параметров классификатора

Уровень нечеткости	Значения весов параметров	
	$d_{кенд}$	$d_{хэм}$
0.0	0,791836	0,208164
0.1	0,789414	0,210586
0.2	0,745158	0,254842
0.3	0,621914	0,378086
0.4	0,601244	0,398756
0.5	0,588561	0,411439
0.6	0,544433	0,455567
0.7	0,529871	0,470129
0.8	0,514897	0,485103
0.9	0,480849	0,519151

Исходные данные и результаты классификации для двух рассматриваемых военнослужащих представлены в табл. 7.

Таблица 7. Исходные данные и результаты классификации

Значения коэффициентов подобия		Классы соответствия должности		
$d_{кенд}$	$d_{хэм}$	1	2	3
0,48	0,453668	0,811294	0,090869	0,097837
0,68	0,30174	0,107695	0,437045	0,455259

Таким образом, из результатов классификации следует, что первый из рассматриваемых кандидатов более подготовлен к рассматриваемой должности, нежели второй, несмотря на относительное превышение уровня его общей подготовки (средний балл кандидата 1 равен 3,429, а кандидата 2 соответственно 3,571).

Таким образом, предложенный подход позволяет оценить уровень подготовки специалиста на предмет соответствия должностям.

### **Литература**

1. Багрецов С.А. Применение методов многомерной размытой классификации в диагностике сложных систем // Приборостроение. 1995. № 9, 10. С. 74–76.
2. Львов В.М., Рахманова Т.Р., Сударик А.Н. Методический подход к решению проблемы профессиографического описания управленческих воинских должностей // Проблемы психологии и эргономики. 2004. № 1 С. 14–18.
3. Багрецов С.А., Львов В.М., Колганов С.К. Диагностика и прогнозирование функциональных состояний операторов в деятельности. Вопросы проектирования и применения. М.: Радио и связь, 2000.
4. Багрецов С.А., Львов В.М. [и др.]. Диагностика социально-психологических характеристик малых групп с внешним статусом. СПб.: Лань, 2000. с. 630.

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОБЩЕСТВЕННОГО ЦЕНТРА «ЭКОЛАБ» В ЗАТО Г. ЖЕЛЕЗНОГОРСКА В СОТРУДНИЧЕСТВЕ С СИБИРСКИМ ИНСТИТУТОМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ – ФИЛИАЛОМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ГПС МЧС РОССИИ**

**В.П. Малый, доктор физико-математических наук, профессор.  
Красноярский государственный педагогический университет  
им. В.П. Астафьева.**

**Е.Н. Матеров, кандидат физико-математических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлена деятельность общественного центра «ЭКОЛАБ» закрытого административно-территориального образования (ЗАТО) г. Железнодорожска. Объективная потребность создания центра на базе университетов и школ ЗАТО г. Железнодорожска обусловлена появлением новых угроз состоянию окружающей среды, востребованностью экологического образования и воспитания экологической культуры молодежи, их родителей, педагогов и отсутствием научно-обоснованной системы реализации идеи экологического образования.

*Ключевые слова:* общественный мониторинг, общественное экологическое движение

## **PUBLIC INFORMATION ACTIVITIES OF THE CENTER «ECOLAB» IN ZHELEZNOGORSK IN COOPERATION WITH THE SIBERIAN BRANCH OF THE SAINT-PETERSBURG UNIVERSITY OF STATE FIRE SERVICE OF EMERCOM OF RUSSIA**

V.P. Malyi. Krasnoyarsk of State university of pedagogical.

E.N. Materov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article introduces the activities of the public center «ECOLAB» Zheleznogorsk. Objective need for the establishment of the Center based on universities and schools Zheleznogorsk caused by the emergence of new threats of the environment on the territory of Zheleznogorsk, demand for environmental education education of ecological culture of youth, their parents,

teachers and the lack of scientifically based system implementing the idea of environmental education.

*Key words:* public monitoring, public ecological movement

Одной из приоритетных задач Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций является организация и проведение работ по заблаговременному выявлению и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, биологосоциального характера и их источников с учетом риска их возникновения. В частности, для выявления и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, необходимо осуществление их мониторинга, в том числе общественного, проведение оперативного лабораторного контроля с целью обнаружения и индикации радиоактивного, химического, биологического (бактериологического) заражения (загрязнения) объектов окружающей среды и создание специализированных геоинформационных систем, банка данных по источникам чрезвычайных ситуаций и оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время управление в социальных и экономических системах, не согласованное с возможностями окружающей среды, её воспроизводственной способностью и законами природы, привело к возникновению тенденций, влияние которых ни планета, ни ее население не смогут выдержать. Речь идет не об отдельных кризисах, а о едином системном кризисе глобальной системы: «Человек–Среда» [1].

Среди причин возникновения такого рода кризисов выделяется радиоактивность, прежде всего, техногенная. Проблема радиоактивного загрязнения биосферы возникла из-за того, что человеческая деятельность привнесла в окружающую среду новые источники радиации, прежде всего, технологические циклы, связанные с ядерной энергетикой и оборонно-промышленным комплексом. В настоящее время регионы мира сталкиваются с риском необратимого разрушения окружающей среды техногенной радиацией и, как следствие, возникновения у людей радиофобии. Получение научных знаний о развитии системы «общество – радиация – природная среда» является актуальной задачей и практической необходимостью. В частности, в ЗАТО г. Железногорска (часто именуемом «АТОМГРАД») действует предприятие ФГУП «Горно-химический комбинат», куда свозят отработавшее ядерное топливо не только с российских станций, но и из-за рубежа, что создает определенный риск влияния на экологию местности не в лучшую сторону.

Группа студентов из железнгорских филиалов красноярских вузов и курсантов Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, совместно со школьниками города, обучающимися в МОУ ДОД «Станция юных натуралистов», а также с курсантами КГАОУ «Школа Космонавтики» (лаборатория Радиационных технологий ШК – «НИРАЛ») вносит свой вклад в решение столь важной и актуальной проблемы как регистрация и подавление процесса деградации экологического состояния окружающей природной среды в ЗАТО г. Железногорска, и в качестве первого шага – организовала общественный мониторинг основных параметров экологической обстановки в ЗАТО г. Железногорска.

Объективная потребность и необходимость создания центра на базе университетов и школ ЗАТО г. Железногорска обусловлена появлением новых угроз состоянию окружающей среды на территории ЗАТО (например, планируемый на 2011 г. ввод Железногорской ТЭЦ на «молодых» углях Ирше-Бородинского разреза), востребованностью экологического образования и воспитания экологической культуры молодежи, их родителей, педагогов ЗАТО и отсутствием научнообоснованной системы реализации идеи экологического образования (например, на основе проекта «ЭКОЛАБ»), а также необходимости сбора, обработки и анализа информации об источниках чрезвычайных ситуаций и показателях риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

В основу деятельности центра «ЭКОЛАБ» положены принципы непрерывности образования, как условия формирования и развития личности; экологической культуры

образования; технологизации процессов образования, целостные, педагогические, научно-обоснованные модели экологического образования; инноватика методического процесса; диагностируемость процесса образования [2].

Развитие деятельности центра «ЭКОЛАБ» происходит поэтапно. Так как проект носит еще и педагогический характер, то каждый из этапов реализуется в течение одного учебного года.

В первый год реализации проекта разработаны научно-методические основы и организация практической работы лаборатории по гамма-мониторингу горячих экологических точек. Данная задача решена с помощью привлечения к проекту ряда профессионалов и экспертов высокой квалификации из Радиационно-экологического центра ФГУП ГХК и Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

В течение уже первого года работы центра «ЭКОЛАБ» проводился гамма-мониторинг на территории г. Железнодорожска и его окрестностях, осуществлялась разработка и утверждение учебно-методических материалов по всему спектру направлений работы. На последующих этапах предполагается осуществить увеличение масштабов проводимых исследований, прежде всего, расширить круг исследуемых показателей экологического состояния города. Параллельно с этим планируется провести мероприятия, направленные на расширение материальной базы лаборатории и ее приборообеспеченность, а также намечено расширить спектр экологических исследований, в частности, начать проведение экологического мониторинга флоры и фауны, воздушной и водной сред, почвы.

В процессе проведения данного этапа проекта осенью 2009 г. было организовано масштабное мероприятие «Радиофобия: миф или реальность?» с участием учеников одиннадцати школ г. Железнодорожска и поселка Подгорный. В рамках данного мероприятия были проведены замеры радиационного фона территории ЗАТО г. Железнодорожска в различных его точках в форме научно-художественного конкурса между школьниками.

Учащиеся в рамках конкурса проводили исследования радиационной обстановки на территории своих школ, проводили обширные социологические опросы для определения степени радиофобности жителей ЗАТО г. Железнодорожска. Затем анализировали и представляли полученные данные, делали соответствующие выводы, выдвигали предложения и обсуждали их с коллегами.

В результате проведения конкурса к январю 2010 г. были получены данные о результатах измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на территории ЗАТО г. Железнодорожска и в ближайших его окрестностях.

В рамках реализации проекта «ЭКОЛАБ» в декабре 2010 г. курсанты Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России посещали созданный к 65-летию атомной отрасли музей Горно-химического комбината.

Экскурсоводы музея подробно ознакомили курсантов с производством Горно-химического комбината, создателями уникального производства, технологией радиохимического завода.

Курсанты получили наглядное представление о системах управления ядерного реактора, схемах действий всех служб заводов Горно-химического комбината, в том числе в нештатных ситуациях, а также смогли почувствовать себя в роли инженеров управления реактором (рис. 1–3).

Особый акцент был сделан на системах обеспечения пожарной безопасности такого производства, как Горно-химический комбинат, на специальных противопожарных установках и методах их обслуживания. Кроме того, курсанты ознакомились с производством Изотопно-химического завода (ИХЗ ГХК), методами захоронения отработавшего ядерного топлива. Измеряя мощность эквивалентной дозы естественного радиационного фона в музее, курсанты практически поработали с приборами, предназначенными для измерения параметров радиационных полей на предприятиях атомной отрасли России.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

В целом же по итогам работы над проектом «ЭКОЛАБ» были достигнуты следующие результаты:

- организовано и запущено в работу независимое общественное экологическое движение в ЗАТО г. Железнодорожника;

- в процессе проведения конкурса «Радиофобия: миф или реальность?» на базе проекта «ЭКОЛАБ» были получены данные об экологических параметрах окружающей природной среды на различных участках ЗАТО г. Железнодорожника и его окрестностях.

Помимо этого, на последующие этапы деятельности проекта возложены такие задачи, как:

- проведение оперативных радиометрических и радиохимических анализов объектов окружающей среды;

- расширение программы, форм, методов и приборной базы проведения экологических исследований;

- наращивание материально-технической базы лаборатории «ЭКОЛАБ»;

- установление новых связей и организация сотрудничества с краевыми, общероссийскими и зарубежными экологическими организациями;

- создание информационно-образовательного портала «Экология ЗАТО г. Железнодорожника», обеспечивающего доступ к экологическим параметрам в режиме реального времени;

- расширение деятельности проекта путем вовлечения курсантов Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России в рамках слушательского научного общества;

- ведение через средства массовой информации разъяснительной работы по вопросам экологической культуры и культуры безопасности жизнедеятельности.

Многочисленными студенческими и школьными работами показано, что необходимость отслеживать экологическую обстановку в г. Железнодорожске и за его пределами будет лишь возрастать и следует приложить все возможные усилия для осуществления контроля соответствующей системы показателей. Одним из таких усилий общественности может стать активная полномасштабная реализация деятельности центра «ЭКОЛАБ» в ЗАТО г. Железнодорожска.

#### **Литература**

1. Кувыкин Н.А., Бубнов А.Г., Гриневиц В.И. Опасные промышленные отходы (лицензирование, нормативы образования и лимиты на размещение): учеб.-метод. пособ. / под общ. ред. В.В. Кострова; Ивановский гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. 148 с.
2. Фомичев А.Н. Проблемы концепции устойчивого экологического развития. М.: Либроком, 2009. 216 с.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИ РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**В.Н. Громов, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ.**

**Военный инженерно-технический университет, Санкт-Петербург.**

**Л.А. Белякова, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрено применение интеллектуально-информационной поддержки на основе использования общего логико-вероятностного метода ситуационного моделирования в системе мониторинга контролируемых параметров воздушной среды метрополитена. Показано, что наличие интеллектуально-информационной системы в составе автоматизированных рабочих мест позволяет формировать, а оператору выбирать лучшие варианты решений управления системами безопасности для достижения главной целевой функции.

*Ключевые слова:* интеллектуально-информационная система, транспортное предприятие, комплексная система безопасности, автоматизированная система контроля параметров воздушной среды, метрополитен

## **INTELLECTUAL- INFORMATION SUPPORT DURING THE SOLUTION OF PROBLEMATIC SITUATIONS IN THE TRANSPORT ENTERPRISES**

V.N. Gromov. Military technical university Saint-Petersburg.

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

Reduction in the risks and the softening of consequences with the extraordinary situations (ES) in the transport enterprises (metros in particular) to the high degree depends on presence and effectiveness of the application of integrated systems of safety. Making the valid decisions in the process of providing transport safety assumes the application of intellectual- information support on the basis of the use of a general logical-probability method of situation simulation in the system of monitoring the controlled parameters. During the monitoring in the metro are produced continuous

tracking of the state of air medium for the purpose of the prevention of undesirable deviations with respect to the most important parameters, development of the time of the appearance of dangerous situation, possible place, scale and consequences for the passengers of metro. The presence of intellectual- information system in the composition of the automated work sites makes it possible to form, and to operator to select the best versions of the solutions of control of the security systems for achievement of main objective function. Absence or ineffective use of integrated systems of safety in the field of transportation can lead to the incommensurably large economic losses, than expenditure for the creation of system itself.

*Key words:* intellectual-information system, transport enterprise, the integrated system of safety, control process, the automated system of the control of the parameters of air medium, metro

Информация непосредственно и неразрывно связана с процессом управления. Управление осуществляется для достижения определенной цели, связанной с состояниями объекта и среды, в которой он находится. Критерием оптимальности управления является степень достижения заданной целевой функции управления.

Интеллектуально-информационная система реализует и поддерживает модели, методы и алгоритмы достижения заданной целевой функции управления при решении проблемных ситуаций в технически сложных системах.

Транспортные предприятия и метрополитен, в частности, являются технически сложными системами, предназначенными для интенсивных пассажирских перевозок.

Удельный вес метрополитена в общегородских объемах пассажироперевозок составляет до 55 %. В Москве ежедневно в рабочие дни недели метрополитен перевозит 9–9,5 млн пассажиров, в Санкт-Петербурге около 3-х млн человек.

Вместе с тем, пребывание в метрополитене может представлять риск для жизни и здоровья людей.

Особенностью метрополитена, как объекта с массовым пребыванием людей, является то, что это подземный объект, и в случае пожара, техногенной аварии или теракта его пассажиры становятся заложниками чрезвычайной ситуации (ЧС), так как часто не могут самостоятельно успешно эвакуироваться через пассажирские помещения станций.

В силу своих специфических особенностей, метрополитен является еще и сооружением коллективной защиты населения при чрезвычайных ситуациях природного, техногенного и экологического характера, то есть сооружением двойного назначения.

В СП 11-107-98 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны» в разделе – «Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций проектов строительства» говорится, что сооружение двойного назначения это инженерное сооружение производственного, общественного, коммунально-бытового или транспортного назначения, приспособленное (запроектированное) для укрытия людей, техники и имущества от опасностей, возникающих в результате последствий аварий на потенциально опасных объектах, а также от воздействия современных средств поражения.

Для защиты здоровья пассажиров метрополитена при повседневной эксплуатации и экстремальных условиях большое значение имеет наличие систем снижения рисков, смягчения последствий ЧС, терактов и защиты от воздействия современных средств поражения.

В общей системе мер противодействия ЧС приоритет отдается комплексу мероприятий, направленных на снижение риска возникновения ЧС и смягчение их последствий.

Комплексно эта задача решается автоматизированной системой контроля параметров воздушной среды (АСКПВС-М) и управления дополнительными устройствами метрополитена с системой поддержки принятия решений, образующих систему защитной автоматики (СЗА) транспортного предприятия.



В метрополитенах СЗА взаимодействует с системами тоннельной вентиляции, защитными и фильтрующими элементами [1]. СЗА представляет собой структурированную систему мониторинга и управления инженерными системами метрополитена.

СЗА строится с использованием современных программно-технических средств и обеспечивает видеомониторинг, мониторинг микроклимата, управление дополнительными устройствами метрополитена и передачу информации об их состоянии по каналам связи в дежурно-диспетчерские службы (ДДС) [2, 3].

В ДДС (рисунок) выполняется обработка информации с целью предупреждения, оценки и ликвидации дестабилизирующих факторов в масштабе реального времени, а также для прогноза развития последствий ЧС, в том числе вызванных террористическими актами.

Мониторинг – это постоянный сбор информации, наблюдение и контроль, включающий процедуры измерения биометрических параметров пассажиров, паров и частиц взрывчатых веществ, параметров воздушной среды и технологического процесса на объектах метрополитена, наличия вредных веществ, состояния окружающей среды на прилегающих к объекту территориях.

Мониторинг основан на управлении рисками и прогнозировании развития процессов на технически сложном объекте, которое невозможно без интеллектуально-информационной поддержки для подготовки и принятия управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС.

При мониторинге в метрополитене производится непрерывное слежение за состоянием воздушной среды с целью предупреждения нежелательных отклонений по важнейшим параметрам, выявление времени возникновения опасной ситуации, возможного места, масштаба и последствий для пассажиров метрополитена.

Микроклимат в метрополитене должен отвечать требованиям санитарных правил, которые устанавливают основные санитарно-гигиенические требования к стационарным объектам и подвижному составу метрополитенов и предназначены для создания благоприятных и безопасных условий перевозки пассажиров, сохранения здоровья и поддержания высокой работоспособности персонала, защиты окружающей среды в процессе эксплуатации метрополитенов [4].

Динамичность метрополитена, возможность возникновения опасности в процессе его функционирования и масштабы опасности при ЧС определяют необходимость применения новых, современных подходов к проектированию СЗА.

Принятие обоснованных решений в процессе обеспечения транспортной безопасности предполагает применение интеллектуально-информационной поддержки на основе использования общего логико-вероятностного метода ситуационного моделирования в системе мониторинга параметров воздушной среды метрополитена.

В Санкт-Петербурге головной организацией по оснащению метрополитена системой защитной автоматики рекомендован Военный инженерно-технический университет (ВИТУ).

Совместно с НИИФИ (г. Пенза) на протяжении 30 лет создаются и проектируются СЗА специальных объектов МО РФ и объектов ГО для защиты их от воздействия современных средств поражения, терактов, техногенных аварий и катастроф.

На конференциях по проблемам Метрополитена СНГ, проводившихся в г. Екатеринбурге, г. Тольятти в 2007 г., в городах Брянске и Новосибирске в 2008 г., в Москве, г. Харькове, Санкт-Петербурге в 2009 г. – проект СЗА ВИТУ был принят за основу для внедрения на практике в метрополитенах СНГ.

Работы, проводимые ВИТУ с 1994 г. по антитеррору в метро, известны и поддерживаются Международной Ассоциацией «Метро».

В общем случае СЗА обеспечивает [5]:

- контроль, регистрацию и защиту от поражающих факторов взрывчатых веществ и современных видов оружия;
- контроль температуры, концентрации CO<sub>2</sub>, CO, влажности, давления и скорости потока воздуха на станциях и в тоннелях;

- автоматическую выдачу сигнала при обнаружении радиоактивных и химически опасных веществ;
- автоматическое документирование фактов превышения установленных уровней по химическим, биологическим и радиационным факторам;
- оценку и прогнозирование развития экологической ситуации при ЧС;
- подготовку данных для принятия решений по действиям операторов систем вентиляции в аварийных ситуациях;
- дистанционную визуальную оценку обстановки на станциях и в тоннелях метрополитена в повседневных и экстремальных условиях;
- подготовку материалов для информирования населения и местных органов власти об изменениях радиационно-химической обстановки в районах вентиляционных шахт метрополитена и степени ее опасности;
- автоматизированный контроль параметров воздуха во внутренних объемах метро для информационного обеспечения оператора систем вентиляции и программную реализацию упреждающих расчетов изменения полей концентраций вредных веществ в тоннелях и на станциях при ЧС.

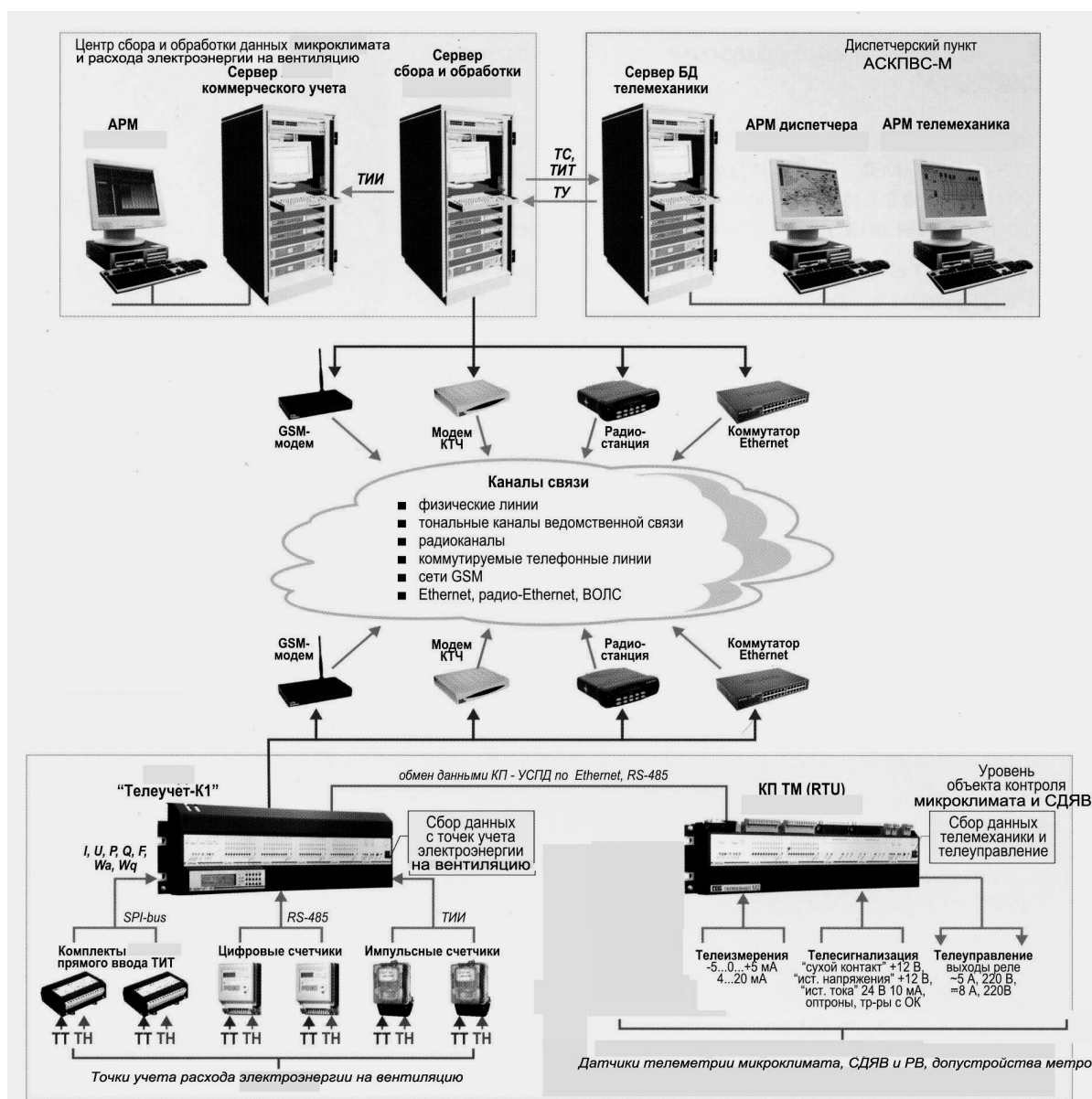


Рис. Оперативный информационно-управляющий комплекс дежурно-диспетчерской службы метрополитена и центр сбора данных по микроклимату

Решения по составу датчиков СЗА принимаются на основании:

- санитарных правил эксплуатации метрополитенов (СП 2.5.1337-03), которые определяют перечень измеряемых и регулируемых параметров микроклимата метрополитена на основании санитарно-гигиенических требований к пассажирским и служебным помещениям метрополитенов, системам вентиляции и кондиционирования воздуха;
- наличия близко расположенных от метро потенциально опасных объектов (ПОО) и транспортных коммуникаций, аварии на которых могут стать причиной возникновения ЧС на метрополитене;
- расчета максимально возможных зон действия основных поражающих факторов и концентраций химически опасных веществ при авариях на рядом расположенных ПОО, а также объектах транспорта на основе применяемых методик расчетов;
- сведений о максимальной численности людей на станциях и в поездах метрополитена, которые могут оказаться в зоне ЧС, вызванной авариями на рядом расположенных объектах.

Управление работой метрополитена при возникновении крупномасштабных чрезвычайных ситуаций следует предусматривать из командного пункта метрополитена и подчиненных ему командных пунктов на линиях.

Методы проектирования систем защитной автоматики основываются на следующих принципах:

- многоуровневой защиты (создание последовательных уровней защиты, сокращающих вероятность поражения людей и ограничивающих их последствия). Этот принцип применяется для компенсации потенциальных ошибок человека или отказов технических устройств. Принцип реализуется в первую очередь путем создания серии барьеров для удержания опасных веществ, которые должны быть обнаружены, прежде чем может быть нанесен ущерб человеку (остановка системы вентиляции, реверс вентиляторов, закрытие затворов и клапанов и т.п.);
- единичного отказа (система должна оставаться работоспособной при отказе любого элемента);
- безопасного отказа (отказы системы защитной автоматики в любой ситуации должны приводить к ее срабатыванию, но не перерастанию из-за этого аварийной ситуации в аварию);
- независимости и разнообразия, когда СЗА проектируются так, чтобы влияние дефектов, ошибок, отказов на работоспособность системы было минимальным. При этом независимость достигается физическим, функциональным и пространственным разнесением (отдельные от других систем каналы связи, применение разнесенных каналов связи и т.п.), а разнообразие – разнотипностью физических, методических и аппаратных принципов реализации (применение бесконтактных и контактных элементов, применение датчиков – реле прямого действия и т.п.);
- надежности и живучести, когда обеспечивается высокий уровень надежности функционирования важнейших элементов в нормальных условиях эксплуатации и при проектных внешних воздействиях (дублирование, климатическая защита, применение автономных и встроенных источников питания, энергонезависимая память и т.п.);
- естественной технической безопасности, который реализуется путем применения автономных специальных средств защиты, максимально упрощенной и надежной конструкции технической системы, а также исключения влияния ошибок оператора на развитие аварийных процессов.

При реализации СЗА должны выполняться следующие правила:

- максимальное упрощение систем управления с целью повышения надежности;
- минимизации роли ошибок человека в ЧС.

Структурно СЗА может быть представлена в виде следующих укрупненных основных частей [6].

*Измерительная часть системы (ИЧС)*, содержащая наборы измерительной аппаратуры (датчики, преобразователи и т.д.), непосредственно воспринимающие изменение параметров воздушной среды и наличие примесей химически опасных веществ. В состав ИЧС, расположенной на всем протяжении линий метрополитена и станциях, может входить различное количество и различный набор датчиков с локальным устройством связи.

*Коммуникационная часть* обеспечивает передачу данных от ИЧС и управляющих воздействий средствами вычислительного ядра. Каналы связи могут быть самые различные: коммутируемые телефонные и/или телеграфные линии, выделенные физические линии, радиоканалы, оптоэлектронные связи и т.д. Коммуникационная часть строится на базе телемеханических изделий и может задавать различные конфигурации сопряжений изделий между собой с протоколами обмена, соответствующими требованиями локальных или открытых вычислительных сетей либо нестандартными протоколами, присущими только данной СЗА.

*Вычислительное ядро* обеспечивает работу с линиями и станциями метрополитена и проведение в реальном масштабе времени расчетов для различных режимов работы системы вентиляции по разработанным моделям. С помощью датчиков снимается информация, которая используется как входная для расчетов на модели метрополитена оптимальных, энергосберегающих режимов работы системы вентиляции в повседневных режимах эксплуатации. В состав вычислительного ядра входят: системное устройство связи с объектом, процессоры, обеспечивающие вычисления на модели, устройства отображения и устройства документирования, которые могут создаваться как на стандартных вычислительных средствах (мониторы, принтеры, флоппи - диски, стримеры и т.д.), так и на нестандартном оборудовании (мнемотабло, мнемощиты и т.п.) в зависимости от требований реального пользователя.

*Экспертный блок* интеллектуально-информационной поддержки при решении проблемных ситуаций, где производится комплексная и тематическая обработка информации, полученной в ходе наблюдения за объектами метрополитена; моделирование и прогнозирование сценариев развития опасных ситуаций на объектах; экспертная оценка и выдача рекомендаций по совершенствованию мероприятий по снижению риска ЧС; и режимов, обеспечивающих снижение концентрации или исключение появления химически опасных примесей в воздухе, оценка эффективности принимаемых решений.

С помощью экспертного блока в результате расчетов формируются данные по динамике развития процессов в воздушной среде на станциях и в тоннелях метрополитена либо рассчитываются производные характеристики, важные для принятия правильных решений оператором систем вентиляции метрополитена или другого пользователя (например, МЧС России).

Измерительные функции могут быть различными, но вне зависимости от типа используемой модели объекта или процесса. Здесь обычно обеспечивается многоканальный сбор данных; предварительная обработка сигналов (нормирование, центрирование, прореживание данных и т.д.); определение параметров сигналов; формирование файлов для регистрации или трассировки; визуализация и документирование данных; контроль, редактирование и отбраковка полученных результатов; калибровка трактов, тестирование и диагностика оборудования; взаимодействие оператора с системой в интерактивном режиме.

Вычислительные функции напрямую зависят от типа используемой модели объекта и контролируемого процесса. Здесь главную роль играют потенциальные возможности вычислительного ядра, определяющие производительность вычислительных средств системы (пропускную способность) и возможности ее увеличения.

Эффективные алгоритмы счета на выбранной модели метрополитена должны обеспечивать комплексную, взаимосвязанную работу всех необходимых систем безопасности и жизнеобеспечения. Для каждого вида ЧС, в том числе вызванных

террористическими актами, должны быть разработаны свои алгоритмы предупреждения и ликвидации ЧС.

Для исследования сценариев в системе мониторинга используется интеллектуально-информационная поддержка при решении проблемных ситуаций и управлении риском.

Основным следствием из приведенного материала является необходимость совместного рассмотрения модельного описания метрополитена и структурных характеристик вычислительного ядра СЗА, определяющих эффективность выполнения вычислительных функций системы в целом.

Магистральным направлением создания СЗА является использование готовых типовых технических средств и программного обеспечения, существенно ускоряющих длительный и трудоемкий процесс оснащения метрополитена или ПОО конкретной системой.

Важным шагом на пути снижения затрат на разработку и создание СЗА является автоматизация сначала трудоемких, а затем и большинства (если не всех) стадий проектирования на основе применения систем автоматизированного проектирования.

Механически перенести методы анализа и проектирования СЗА для всех метрополитенов весьма затруднительно в силу индивидуальности метрополитенов различных городов РФ и стран СНГ. Несмотря на определенную общность архитектурных решений СЗА и некоторых задач для метрополитенов разных городов, все же такие комплексы в каждом случае уникальны. Иными словами, СЗА проектируются строго индивидуально, с учетом особенностей самого метрополитена.

При этом должен проводиться полный цикл работ, связанных с организацией предпроектного обследования метрополитена перед разработкой СЗА.

Для комплексной оценки технически сложных систем обычно используют показатель – эффективность. В широком смысле эффективность системы характеризует степень целесообразности ее применения в данных условиях.

Наиболее общим критерием в настоящее время является стоимостной (экономический) критерий, учитывающий затраты на создание системы, ее последующую эксплуатацию и эффект (доход) от применения системы.

Однако стоимостной критерий для систем, обеспечивающих защиту людей при ЧС, неприемлем, так как, во-первых, невозможно получить достоверные сведения о величине потерь, возникающих при ЧС, и, во-вторых, трудно привести к одному масштабу эффект от применения системы и стоимость потерь.

В нашем случае наиболее важным является социальный фактор, а не экономический, поэтому целесообразно использовать частный критерий – эффективность функционирования, понимая под этим характеристику, которая оценивает степень приспособленности системы к выполнению поставленной перед ней задачи вне связи с теми затратами, которые необходимы для ее создания.

Так, например, в случае радиоактивного заражения одного из участков метрополитена (станция, вестибюль, воздухозаборная шахта), необходимо будет закрыть его на длительный срок, так как конструкции метрополитена плохо поддаются дезактивации.

При этом возникнет проблема обеспечения транспортными средствами большой группы населения, живущей в районе закрытого участка метрополитена, что создаст экономическую и социально-политическую напряженность в районе и городе.

Таким образом, рассматривая последствия, следует признать, что отсутствие СЗА на метрополитене или ее неисправность в момент возникновения ЧС или теракта может привести к несоизмеримо большим экономическим потерям, чем затраты на создание самой системы.

На текущий момент в ВИТУ, под руководством авторов:

- созданы ведомственные строительные нормы по проектированию и расчету СЗА для объектов ГО, метрополитенов и потенциально опасных объектов;
- получено 19 авторских свидетельств, из которых пять – реализованы в серийных изделиях СЗА;

– проектные решения оцениваются на надежность и безопасность на основе применения программного комплекса с использованием общего логико-вероятностного метода моделирования [7] – аттестационный паспорт ФС службы по экологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР) РФ, регистрационный № 222 от 21 февраля 2007 г.;

– проведено научное сопровождение проектирования и внедрение систем Антитеррор в Минском метрополитене (2005–2008 гг.), Казанском и Уфимском метрополитене (НИР «Концепция-М», 1998–2000 гг., Заказчик – Институт «Нижегородметропроект». Проекты прошли Госэкспертизу РФ. В Санкт-Петербургском метрополитене системы контроля воздуха внедрены в 2009 г. на новых станциях «Спасская» и «Волковская».

Исходя из изложенного и на основании многолетнего опыта работы ВИТУ в данной области, имеется возможность быстро и с минимальными затратами внедрить СЗА с интеллектуально-информационной поддержкой при решении проблемных ситуаций в метрополитенах крупных городов, на объектах ГО и на потенциально опасных объектах.

### **Литература**

1. Цодиков В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1975. 568 с.
2. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. М., 1989.
3. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. М., 1985.
4. Белякова Л.А., Громов В.Н. Проблемы санитарно-гигиенического мониторинга воздушной среды метрополитенов в повседневных и экстремальных условиях // сб. тезисов докладов Всерос. науч.-практ. конф. «Современные технологии исследований в гигиене и экологии», 25–26 окт. 2004 г. СПб.: Изд-во ВМедА, 2004.
5. Белякова Л.А., Громов В.Н. Комплексная система контроля микроклимата на подземных объектах метрополитена в повседневных и экстремальных условиях // сб. тезисов докладов Всерос. конф. «Организация воздухообмена в тоннелях и на станциях метрополитенов», 18–19 марта 2004 г. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004.
6. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. М., 2005.
7. Можаяев А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. СПб.: ВИТУ, 2000. 144 с.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ НА БАЗЕ ЗАЩИЩЕННЫХ ВЕБ-СЕРВЕРОВ**

**В.И. Воробьев, доктор технических наук, профессор;**

**Р.Р. Фаткиева, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН**

Предложена система, обеспечивающая повышение эффективности системы управления за счет автоматического контроля выполнения, прозрачности деятельности организации на всех уровнях, протоколирования деятельности предприятия в целом, оптимизации бизнес-процессов и автоматизации механизма их выполнения и контроля. Предполагается наличие территориально-распределенных подразделений, что порождает требования к удаленному защищенному доступу, репликации данных, а также

необходимость в развитой маршрутизации документов, в управлении потоками работ. Платформа системы разработана в соответствии с концепцией сервисно-ориентированной архитектуры.

*Ключевые слова:* интероперабельность, бизнес-процессы, веб-сервисы, цифровая подпись, авторизация

## AUTOMATED SYSTEM FOR TERRITORIALLY DISTRIBUTED ORGANIZATION CONTROL ON THE BASIS OF SECURE WEB-SERVICES

V.I. Vorob'ev; R.R. Fatkueva.

Saint-Petersburg institute of Informatics and Automatization RAS

Control system efficiency enhancement is proposed by virtue of automated performance monitoring (supervision), transparency of organization activities at all levels, logging enterprise activities as a whole, business processes optimization and automated monitoring. Territorially (geographically) distributed structure of subdivisions being supposed to exist, certain requirements are to be met concerning secure remote access, data replication as well as developed documents routing, workflow managing, etc. System platform complies with conception of service-oriented architecture.

*Key words:* interoperability, business processes, web services, digital signature, authorization

Важным условием успешного развития любого направления деятельности является активное использование современных информационных и коммуникационных технологий (ИКТ). Выполнение этого условия особенно актуально при наличии разветвленной структуры региональных подразделений МЧС, в которых необходим надежный защищенный обмен данными. При этом следует подчеркнуть, что важность мобильных платформ высока даже не столько в относительно продвинутых в области ИКТ регионах, где мобильные беспроводные устройства существуют наряду с традиционными проводными системами и сетями WiFi, сколько в малоразвитых в этом отношении регионах, которые, не имея средств на развитие традиционных сетей передачи данных, ограничены лишь теми возможностями, которые им предоставляют мобильные сети.

Проект нацелен на исследование потенциала мобильных технологий в применении к IT-индустрии как для рядовых пользователей – например, в виде сигнализации о возникновении нештатной ситуации, так и для сотрудников МЧС, в том числе в обеспечении доступа к характеристикам объектов, заданных в абстрактном контексте, с указанием месторасположения нештатной ситуации, а также к информации о строениях в данном регионе (в частности, о медико-социальных учреждениях), о качестве дорог и наличии пробок, о медицинских и пожарных бригадах вместе с используемыми ими транспортными средствами. Для получения сведений об объектах используется информация, предоставляемая Web-сервисами. При наличии карты региона становится доступной информация обо всех объектах, которые существуют в данном регионе. Предполагается, что на основании поступившей информации принимается решение о том, какие группы реагирования должны принять участие в операции по ликвидации последствий нештатной ситуации, и о маршрутах их движения.

Работу по проекту предполагается вести по двум направлениям. Первое – разработка специализированных программных средств для мобильных устройств, второе – повышение эффективности системы управления за счет автоматического контроля выполнения, прозрачности деятельности на всех уровнях и протоколирования деятельности в целом. Здесь предусматривается: одновременное снижение накладных расходов всех участвующих

сторон на операции координации и взаимодействия, повышение скорости, точности и надежности механизма взаимодействия.

Для разработки специализированных программных средств для мобильных устройств была использована система SWEB [1], обладающая следующими преимуществами: повышение эффективности, снижение операционных издержек, снижение времени обработки запросов, повышение качества обслуживания. При этом следует отметить, что нескоординированные попытки многих участников создать программные продукты для узкого набора задач в скором будущем могут привести к большим трудностям при взаимодействии этих неуниверсальных систем. Именно поэтому свойство интероперабельности оказалось одним из приоритетных при выборе технологии SWEB. Вторым приоритетным свойством является безопасность. Архитектура SWEB опирается на множество современных стандартов, в том числе – PKI и XML-криптографию. Стандарт OASIS WS-Security определяет и стандартизует ядро спецификаций для обеспечения безопасности SOAP сообщений, а также включает несколько дополнений, позволяющих встраивать в сообщения информацию, авторизующую пользователя или сервис. W3C XML-Digital Signature определяет способы включения цифровых подписей в XML-документы, делая их читабельными, легко обрабатываемыми, платформенно-независимыми и, в общем случае, более продуктивными в рабочем окружении, чем предшествовавшие стандарты. Аналогично, стандарт W3C XML Encryption позволяет выборочно шифровать отдельные части XML документов. Дополнительно, использование брокерной системы авторизации, издающей основанные на XML токены безопасности (стандарт Web Services Trust) [2], дает возможность встраивать системы авторизации и продвинутые механизмы аудита в сложных гетерогенных средах.

### **Архитектура системы SWEB**

Для доступа к системе как стационарные, так и мобильные клиенты обращаются к узлу обеспечения взаимодействия (Interaction tier). Как только сообщение проходит валидацию, оно переправляется к ядру системы – выделенному узлу, осуществляющему функции авторизации, аутентификации, уведомления и хранения. Такое отделение базовой функциональности от бизнес-сервисов позволяет в случае сбоя уровня бизнес-сервисов обеспечить доступ базовой функциональности к платформе, документам и отправке сообщений [3]. Для фактической обработки документы передаются SWEB через специальные интерфейсы. Как можно видеть на рис. 1, система состоит из 4-х основных подсистем:

1. Клиент – может быть мобильным и стационарным.
2. Узел взаимодействия – обеспечивает взаимодействие компонент, отвечающих за коммуникации с платформой. Блок «Mobile tier manager» отвечает за связь с мобильными устройствами (использует технологию WS-Security, реализованную в блоке Message Security Manager). Блок «Web tier manager» используется стационарными клиентами и подразумевает использование стандартных средств (встроенные в браузер системы безопасности, смарткарты и т.п.).
3. Узел базовой функциональности – обеспечивает основные сервисы системы. Service Handling обеспечивает взаимодействие между узлом В и остальными компонентами узла С. Модуль SecurityAndAccess Manager включает реализацию протоколов безопасности. Модуль Policy Enforcement обеспечивает авторизацию пользовательского процесса. TaskManager управляет жизненным циклом обрабатываемых документов. Notification обеспечивает возможность рассылки уведомлений по электронной почте или sms-сообщением при наступлении определенных событий. Storage – обеспечивает услуги хранения. Adaptation level организует взаимосвязь с ранее существующими системами.
4. Узел бизнес процессов – инкапсулирует различные бизнес-процессы, при построении этого узла активно используется Business Process Execution Language (BPEL).



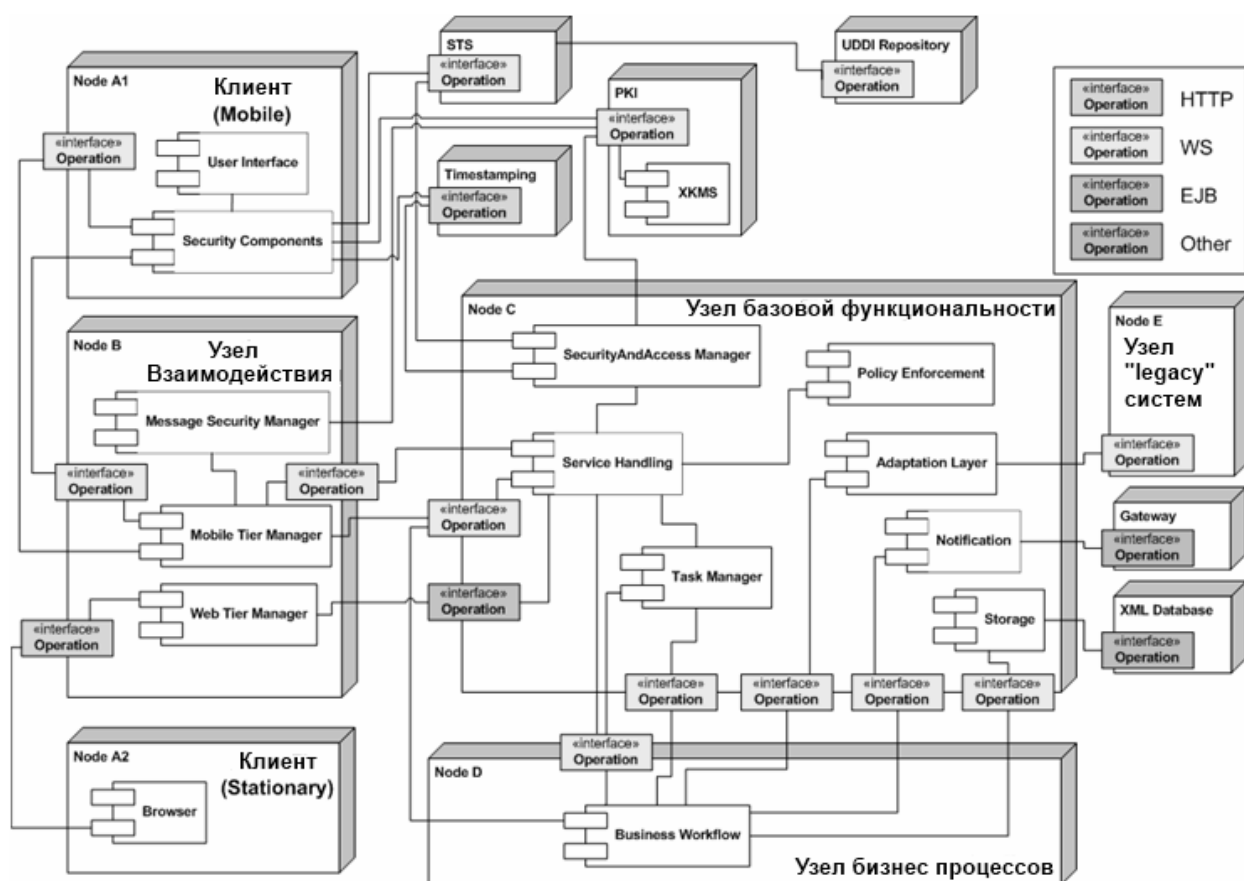


Рис. 1. Компоненты платформы SWEB

На рисунке можно видеть, что в системе используются несколько типов интерфейсов взаимодействия: HTTP/HTTPS для обращения к системе, SOAP для обмена данными между узлами, EJB для взаимодействия внутри узлов (протокол веб-сервисов SOAP не обеспечивает удовлетворительного быстродействия на этом уровне).

### Архитектура мобильного модуля

Архитектура мобильного модуля состоит из четырех блоков:

- блок Web Services capsule – отвечает за обработку входных и выходных сообщений, обеспечивая связь между внутренними и внешними представлениями данных;
- блок интерфейсов Interface capsule – обеспечивает автоматическую подстройку языка и кодировки символов, а также служит целям взаимодействия с ранее существовавшей системой;
- блок безопасности Security capsule – реализует функции безопасности – цифровую подпись (для m-документов DS-Handler, все SOAP сообщения подписываются в WS-Security Handler, мандаты полномочий берутся из блока хранения), запрос валидных временных меток (Timestamp handler). Дополнительно осуществляется генерация запросов на получение необходимых токенов авторизации (Privacy Handler);
- блок хранения Storage capsule – хранит мандаты полномочий и профили пользователей. В зависимости от типа пользователя может автоматически заполнять некоторые поля документов (имя, номер, и т.п.).

## Средства обеспечения безопасности

Представленная система по сути является веб-сервисом. Распространенность подобных систем означает наличие богатого выбора отлаженных технологий и промышленных стандартов, использование которых существенно облегчает разработку [4, 5]. Анализ технологий [6] с целью гарантии её успешного функционирования позволил выбрать следующие компоненты выстраиваемой системы:

- шифрование (W3C XML Encryption);
- обмен ключами (W3C XML Key Management Protocol) содержит директивы для объединения ключей сертификатов и приложений и директивы для организации регистрации, отзыва и обновлений с помощью протокола SOAP (через HTTP);
- OASIS WS-Security – цифровые подписи и поддержка токенов авторизации в SOAP сообщениях;
- Security Assertion Markup Language – XML стандарт для обмена аутентификационной и авторизационной информацией между доменами безопасности;
- Business Process Execution Language – язык описания workflow, специально разработанный для описания современных бизнес-процессов. Одна из задач – стандартизация потоков для последующего облегчения интеграции с другими бизнес-приложениями;
- J2ME – оптимизированное окружение для исполнения Java-приложений на мобильных платформах;
- WS-I Basic Profile and Basic Security Profile – поддерживает интероперабельность веб-сервисов;
- отечественный стандарт цифровой подписи ГОСТ Р 34.10-2001.

Для встраивания цифровой подписи в систему безопасности реализован алгоритм в виде набора классов, объединенных в пакет `ru.eltech.fkti.sign`, с точкой доступа методом `sign` и `verifySignature` в классе `GostSign` используется для инкапсуляции параметров цифровой подписи. Так как в классах нет общего изменяемого состояния (состояние хранится в стеке и не выходит за пределы потока), имеется возможность безопасно запрашивать подписи для различных документов одновременно из разных потоков. Это гарантирует масштабируемость решения. Примерная схема взаимосвязей классов представлена на рис. 2 и в таблице.

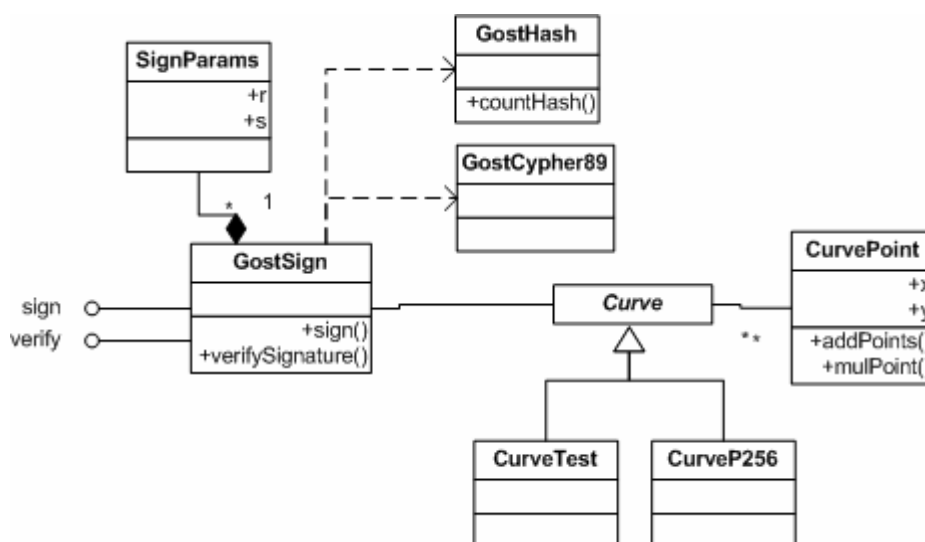


Рис. 2. Взаимосвязи классов реализации цифровой подписи

Класс	Описание
Curve	Абстрактный класс описания эллиптической кривой, с возможностью замены кривой, при возникновении необходимости. В пакете определены два класса с параметрами – CurveP256, содержащий параметры рабочей кривой, и CurveTest, включающий отладочные параметры, используемые для тестирования и отладки алгоритма
CurvePoint	Класс точки на кривой, с реализацией логики арифметики на кривой (операции сложения и умножения на число)
GostSign	Класс, реализующий алгоритм цифровой подписи. Для работы в нем классом SingParams заданы параметры кривой. Вычисление хэша сообщения производится классом GostHash, который, в свою очередь, обращается к реализации алгоритма шифрования

Предложенная сервис-ориентированная архитектура для территориально-распределенных подразделений позволяет увеличить эффективность системы управления за счет автоматического контроля выполнения, прозрачности деятельности и является одним из немногих российских приложений, использующих технологии SWEB. Данный подход позволяет повысить качество сервиса, с уменьшением стоимости операций и времени ожидания.

### Литература

1. Проект SWEB. SWeb project. Org. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sweb-project.org> (дата обращения: 20.03.2011).
2. Хабибулин И. Разработка Web-служб средствами Java. СПб.: БХВ, 2003. 401 с.
3. Арлоу Д., Нейштадт И. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование. 2-е изд. СПб.: Символ-Плюс, 2007. 624 с.
4. Венбо Мао. Современная криптография: теория и практика. М.: Вильямс, 2005. 768 с.
5. Doug Lea, David Holmes, Joseph Bowbeer.. Java Concurrency in Practice. «Addison-Wesley Professional», 2006. 384 с.
6. Билал Сиддикуи. Безопасность Web-сервисов // CitForum.ru: Сервер сетевой безопасности. 2003. [Электронный ресурс]. URL: [http://citforum.ru/security/internet/web\\_service](http://citforum.ru/security/internet/web_service) (дата обращения: 20.03.2011).

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ДОРОГАМ

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

Изложены системы дифференциальных уравнений, которые позволяют исследовать динамические нагрузки различных типов пожарных автомобилей и разработать аналитические методики исследования динамических нагрузок пожарных автомобилей с незначительными погрешностями. Данные методики могут использоваться для анализа

различных вариантов разрабатываемых пожарных автомобилей на начальных стадиях проектирования.

*Ключевые слова:* дифференциальные уравнения, динамические нагрузки, колебания, пожарные автомобили

## DIFFERENTIAL EQUATION OF FIRE TRUCKS OSCILLATIONS ON ROADS

K.S. Ivanov; Y.V. Misevich.

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

System of differential equations set out in article allow to investigate the dynamic loadings of various types of fire engines and to develop analytical methods of investigation of dynamic fire trucks loading with only minor errors. These techniques can be used to analyze the various types of developing fire engines in the early stages of design.

*Key words:* differential equations, dynamic loading, oscillation, fire trucks

Успешная эксплуатация пожарных автомобилей (ПА) при их движении по дорогам с неровной поверхностью возможна только при высоком качестве их подвески, параметры которой должны выбираться, исходя из допустимой интенсивности и характера колебаний кузова и колес автомобиля.

Большие динамические нагрузки, действующие на ПА при движении по дорогам, существенно влияют не только на их техническое состояние, но и на физиологические возможности водителей. При действии на водителя динамических нагрузок, превышающих  $2,5g$ , он вынужден снижать скорость движения автомобиля.

При исследовании колебаний динамические системы ПА удобно рассматривать как эквивалентные колебательные системы. Колебательная система, эквивалентная ПА, специальное оборудование которого смонтировано на базовых машинах с колесными формулами 4x2 или 4x4 (например, АЦ-0,830/2 (530104)001-ММ), представлена на рис. 1.

Такие колебательные схемы также имеют ПА типа АЦ- 3,2-40 (433104) 001-ММ, АЦ-40 (Урал-43206), АЦ-0,8-4 (5301ФБ) ПМ-541. Подрессоренная масса  $M$  и неподрессоренные массы  $m_1, m_2$  связаны упругими элементами (рессорами) с жесткостью  $2c_p$ , и амортизаторами с коэффициентом сопротивления  $2k_p$  (характеризующим гасящее устройство подвески).

Неподрессоренные массы связаны с дорогой шинами, имеющими жесткость  $2c_{ш}$ , и коэффициент неупругого сопротивления  $2k_{ш}$  (характеризующим затухание колебаний в шинах). Жесткость подвески  $c_p$  – величина, приведенная к колес 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.

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

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

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:

$$\bar{c}_p = \frac{dZ_p}{df_p}; \quad c_p = \frac{dZ}{df},$$

где  $f$  и  $\bar{f}_p$  – 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 [1–4].

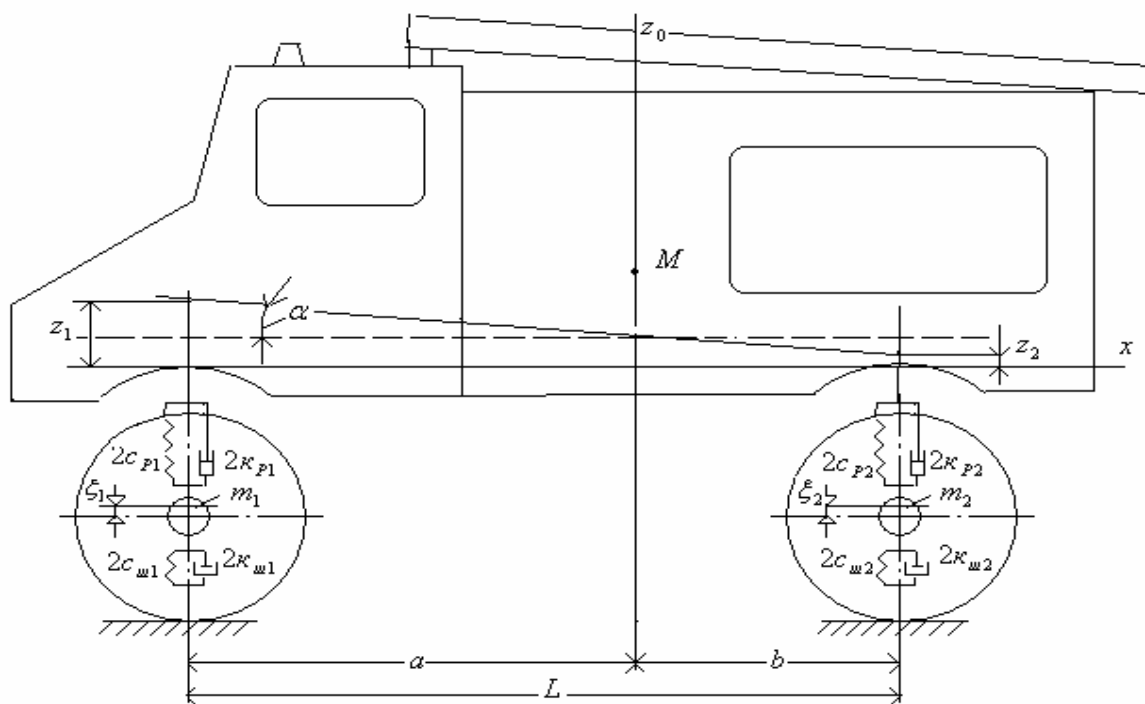


Рис. 1. Колебательная система, эквивалентная пожарному автомобилю:

$M$  – подрессоренная масса;  $m_1$ ,  $m_2$  – неподдресоренные массы;  $a$  – расстояние от переднего моста до центра масс ПА;  $b$  – расстояние от центра масс ПА до заднего моста;  $L$  – база ПА

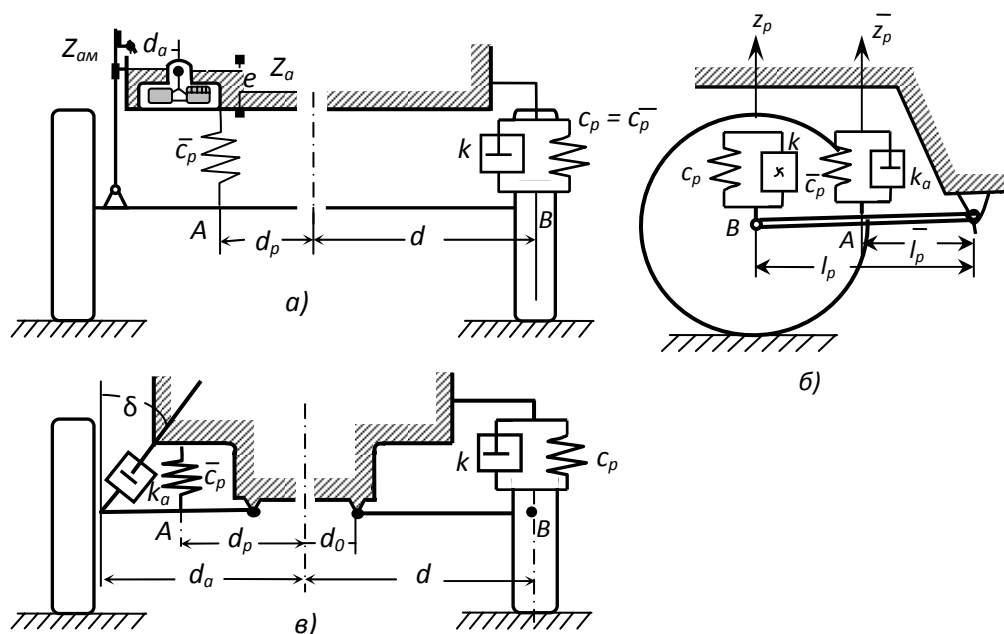


Рис. 2. Схемы подвесок с упругими элементами и амортизаторами

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  $Z_{ам}$  на конце рычага амортизатора (рис. 2а) связана с силой  $Z_a$ , действующей на поршни амортизатора, зависимостью  $Z_{ам} = Z_a \frac{e}{d_a}$ . Полагая сопротивление амортизатора пропорциональным относительной скорости перемещения поршня амортизатора  $Z_a = k_a \dot{f}_{ом}$  и учитывая равенство моментов сил  $Z_a$  и  $Z_{ам}$ , 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 ПА.

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

Пожарный автомобиль представляет собой многомассовую колебательную систему.

Поддрессоренная масса фактически состоит из нескольких связанных масс – рамы, двигателя и кабины. С поддрессоренной 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 ПА, можно решать, рассматривая ПА как динамическую систему, состоящую из поддрессоренных и неподдрессоренных масс, совершающих колебания в вертикальной продольной плоскости. При движении по дорогам максимальные динамические нагрузки действуют на ПА в вертикальной продольной плоскости, проходящей через центр тяжести поддрессоренных масс. Обобщенные координаты, характеризующие положение поддрессоренных и неподдрессоренных масс при вертикальных колебаниях, могут быть выбраны по-разному.

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

$$1) \ z_1, z_2, \zeta_1, \zeta_2;$$

$$2) \ z_0, \alpha, \zeta_1, \zeta_2;$$

Эти системы отличаются тем, что первая описывает колебания поддрессоренной 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:

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

где  $a$  и  $b$  – расстояния от центра тяжести поддрессоренной части ПА до переднего и заднего мостов.

Выражения (1) позволяют переходить от одной системы координат к другой. Используя первую систему координат, можно получить систему уравнений, определяющих линейные вертикальные колебания ПА, при этом вторая система позволяет исследовать его продольные угловые колебания кузова [1–4].

Составим дифференциальные уравнения движения для колебательной системы, представленной на рис. 1, принимая, что ПА движется прямолинейно и равномерно, колебания кузова и колес малы, а характеристики всех элементов подвески линейны (в частности, коэффициенты  $c$  и  $k$  постоянны). Принимаем допущение, что 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:

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

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:

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

где  $\rho_y$  – радиус инерции поддрессоренной массы относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести поддрессоренных 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 ПА [1–4]. Величина  $\varepsilon_y$  может быть найдена не только для поддрессоренной 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:

$$2R = 2\kappa_1(\dot{z}_1 - \dot{\xi}_1)^2 + 2\kappa_2(\dot{z}_2 - \dot{\xi}_2)^2 + 2\kappa_{u1}(\dot{\xi}_1 - \dot{q}_1)^2 + 2\kappa_{u2}(\dot{\xi}_2 - \dot{q}_2)^2. \quad (5)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} M_1 \ddot{z}_1 + 2k_1 \dot{z}_1 + 2c_{p1} z_1 + M_3 \ddot{z}_2 - 2k_1 \dot{\xi}_1 - 2c_{p1} \xi_1 &= 0; \\ M_2 \ddot{z}_2 + 2k_2 \dot{z}_2 + 2c_{p2} z_2 + M_3 \ddot{z}_1 - 2k_2 \dot{\xi}_2 - 2c_{p2} \xi_2 &= 0; \\ m_1 \ddot{\xi}_1 + 2(k_1 + k_{u1}) \dot{\xi}_1 + 2(c_{p1} + c_{u1}) \xi_1 - 2k_1 \dot{z}_1 - 2c_{p1} z_1 &= 2k_{1u} \dot{q}_1 + 2c_{1u} q_1; \\ m_2 \ddot{\xi}_2 + 2(k_2 + k_{u2}) \dot{\xi}_2 + 2(c_{p2} + c_{u2}) \xi_2 - 2k_2 \dot{z}_2 - 2c_{p2} z_2 &= 2k_{2u} \dot{q}_2 + 2c_{2u} q_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Система дифференциальных уравнений (6) описывает колебания ПА 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:

$$\left. \begin{aligned} M \ddot{z}_0 + 2(k_1 + k_2) \dot{z}_0 + 2(c_{p1} + c_{p2}) z_0 - 2(k_1 a - k_2 b) \dot{\alpha} - 2(c_{p1} a - c_{p2} b) \alpha - \\ - 2k_1 \dot{\xi}_1 - 2c_{p1} \xi_1 - 2k_2 \dot{\xi}_2 - 2c_{p2} \xi_2 &= 0; \\ M c_y^2 \ddot{\alpha} + 2(k_1 a^2 + k_2 b^2) \dot{\alpha} + 2(c_{p1} a^2 + c_{p2} b^2) \alpha - 2(k_1 a - k_2 b) \dot{z}_0 - 2(c_{p1} a + c_{p2} b) z_0 + 2k_1 a \dot{\xi}_1 + \\ + 2c_{p1} a \xi_1 - 2k_2 b \dot{\xi}_2 - 2c_{p2} b \xi_2 &= 0; \\ m_1 \ddot{\xi}_1 + 2(k_1 + k_{u1}) \dot{\xi}_1 + 2(c_{p1} + c_{u1}) \xi_1 - 2k_1 \dot{z}_0 - 2c_{p1} z_0 + 2k_1 a \dot{\alpha} + 2c_{p1} a \alpha &= 2k_{1u} \dot{q}_1 + 2c_{1u} q_1 \\ m_2 \ddot{\xi}_2 + 2(k_2 + k_{u2}) \dot{\xi}_2 + 2(c_{p2} + c_{u2}) \xi_2 - 2k_2 \dot{z}_0 - 2c_{p2} z_0 + 2k_2 b \dot{\alpha} + 2c_{p2} b \alpha &= 2k_{2u} \dot{q}_2 + 2c_{2u} q_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

### Упрощение дифференциальных уравнений

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 поддрессоренных 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 [1–4]. На основе

полученных уравнений колебаний ПА в продольной плоскости можно рассматривать частные случаи, встречающиеся в расчетах.

*Случай 1.* Силами сопротивления в шинах можно пренебречь, то есть  $k_{u1} = k_{u2} = 0$ . Обозначим:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{2c_{p1}}{M_1}; & \omega_{k1}^2 &= \frac{2(c_{p1} + c_{u1})}{m_1}; & \bar{\omega}_1^2 &= \frac{2c_{p1}}{m_1}; & \bar{\omega}_{k1}^2 &= \frac{2c_{u1}}{m_1}; \\ \omega_2^2 &= \frac{2c_{p2}}{M_2}; & \omega_{k2}^2 &= \frac{2(c_{p2} + c_{u2})}{m_2}; & \bar{\omega}_2^2 &= \frac{2c_{p2}}{m_2}; & \bar{\omega}_{k2}^2 &= \frac{2c_{u2}}{m_2}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Все эти величины имеют размерность частоты, величины  $\omega$  и  $\omega_k$  с соответствующими индексами и называются парциальными частотами.

Коэффициентами связи, характеризующими связь между колебаниями передней и задней частей автомобиля, определяются зависимости:

$$\eta_{a1} = \frac{M_3}{M_1}; \quad \eta_{a2} = \frac{M_3}{M_2}. \quad (9)$$

Обозначим далее:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{k_{p1}}{M_1}; & \bar{h}_1 &= \frac{k_{p1}}{m_1}; \\ h_2 &= \frac{k_{p2}}{M_2}; & \bar{h}_2 &= \frac{k_{p2}}{m_2}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Пользуясь обозначениями (8)–(10), представим уравнения (6) для рассматриваемого случая в виде:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_1 + 2h_1\dot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 + \eta_{a1}\ddot{z}_2 - 2h_1\dot{\xi}_1 - \omega_1^2 \xi_1 &= 0; \\ \ddot{z}_2 + 2h_2\dot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 + \eta_{a2}\ddot{z}_1 - 2h_2\dot{\xi}_2 - \omega_2^2 \xi_2 &= 0; \\ \ddot{\xi}_1 + 2h_{k1}\dot{\xi}_1 + \omega_{k1}^2 \xi_1 - 2\bar{h}_1\dot{z}_1 - \bar{\omega}_1^2 z_1 &= \omega_{k1}^2 q_1; \\ \ddot{\xi}_2 + 2h_{k2}\dot{\xi}_2 + \omega_{k2}^2 \xi_2 - 2\bar{h}_2\dot{z}_2 - \bar{\omega}_2^2 z_2 &= \omega_{k2}^2 q_2. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Если, кроме сделанных выше допущений, принять что распределение подпрессоренных масс таково, что  $\rho_y^2 = ab$ , то коэффициенты связи, в соответствии с выражениями (3) и (11), равны нулю. Так как уравнения для координат  $z_1$ ,  $\xi_1$  и  $z_2$ ,  $\xi_2$  перестают быть связанными друг с другом, то учитывая их одинаковую структуру и полагая  $k_{u1} = 0$ , для моделирования колебаний ПА как над передней, так и над задней подвесками можно рассматривать уравнения вида:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z - 2h_0\dot{\xi} - \omega_0^2 \xi &= 0; \\ \ddot{\xi} + 2h_{k0}\dot{\xi} + \omega_k^2 \xi - 2h_{k0}\dot{z} - \omega_1^2 z &= \omega_{k1}^2 q \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где обозначено:

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= \frac{k}{M}; \quad h_{k0} = \frac{k}{m} \\ \omega_0^2 &= \frac{2c_p}{M}; \quad \omega_k^2 = \frac{2(c_p + c_u)}{m}; \quad \omega_1^2 = \frac{2c_p}{m}; \quad \omega_{k1}^2 = \frac{2c_u}{m} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

В уравнениях (12) и формулах (13) индексы 1 и 2 опущены, так как уравнения имеют одинаковый вид для передней и задней частей ПА. При этом значения парциальных коэффициентов затуханий и частот, соответствующих колебаниям подрессоренной массы, обозначены  $h_0$ ,  $\omega_0$ , а для неподрессоренной массы –  $h_{k0}$ ,  $\omega_k$ . Колебательная система, соответствующая ПА в рассматриваемом случае, изображена на рис. 3а. Причем, приведенные массы, на основании выражения (3), будут равны:

$$M_1 = M \frac{b}{L}; \quad M_2 = M \frac{a}{L}.$$

*Случай 2.* Силы неупругого сопротивления шин и неподрессоренные массы малы, и ими можно пренебречь.

Пользуясь системой уравнений (7), полагаем, что

$$k_{u1} = k_{u2} = 0; \quad m_1 = m_2 = 0.$$

Величины  $c_1$  и  $c_2$  будем называть в дальнейшем приведенными жесткостями. Колебательная система для рассматриваемого случая представлена на рис. 3б. В данном случае система дифференциальных уравнений в координатах  $z_1$  и  $z_2$  на основании уравнений (12) будет иметь вид:

$$\ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_{01}^2 z = 2h_0\dot{q} + \omega_{01}^2 q,$$

$$\text{где } \omega_{01}^2 = \frac{2c_1}{M_1}; \quad c_1 = \frac{c_{p1}c_{u1}}{c_{p1} + c_{u1}};$$

Коэффициенты этой системы уравнений определяются выражениями, аналогичными зависимостям (8) и (10), но с заменой жесткостей упругих элементов приведенными жесткостями  $c_1$ .

Анализ динамических нагрузок, действующих на ПА при движении по дорогам в диапазоне частот до 100...150 1/с, то есть в области резонансов подрессоренных и неподрессоренных масс, может производиться на основе систем дифференциальных уравнений вида (6), (7). Системы дифференциальных уравнений, полученные на основе уравнения Лапласа, позволяют исследовать динамические нагрузки различных типов ПА, смонтированных на двухосных, трехосных и многоопорных моторно-ходовых базах.

Обоснованное упрощение дифференциальных уравнений позволяет на их основе разработать аналитические методики исследования динамических нагрузок ПА с погрешностями не более 8–10 %. Эти методики могут использоваться на начальных стадиях проектирования (технического предложения и эскизного проекта) для анализа различных вариантов разрабатываемых ПА.

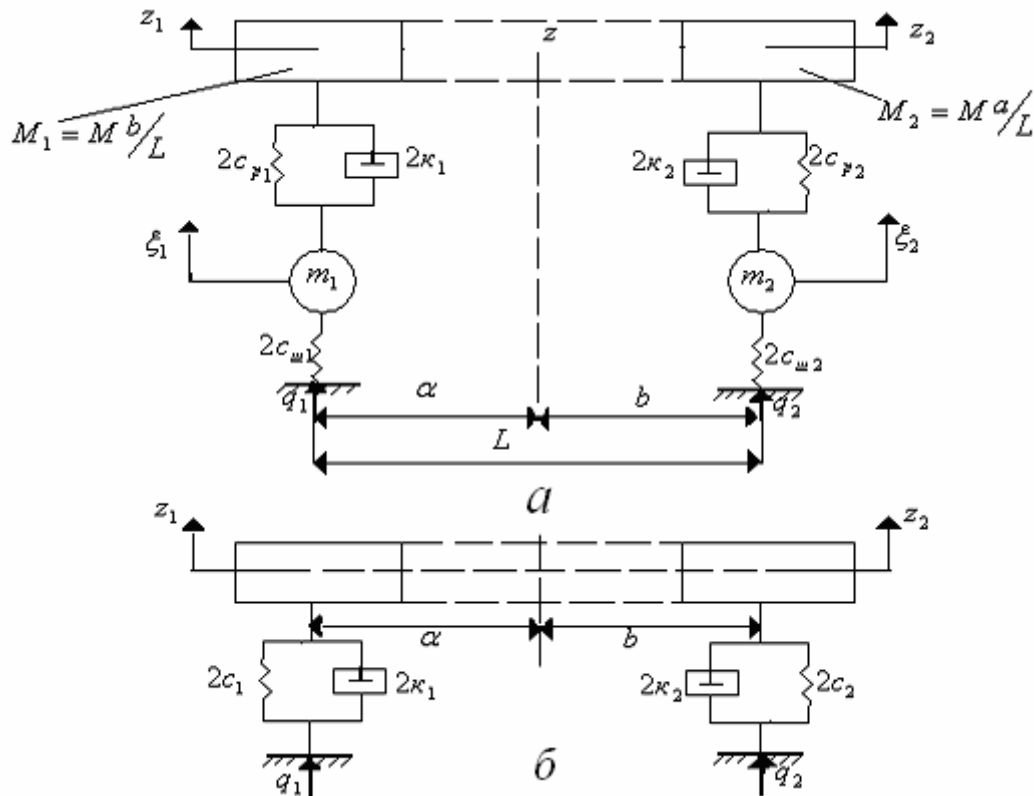


Рис. 3. Упрощенные колебательные системы, эквивалентные пожарному автомобилю

### Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятности: учеб. пособ. для студентов вузов. 11-е изд. М.: КноРус, 2010.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособ. для вузов. 5-е изд. М.: Высшая школа, 2010.
3. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика: учеб. пособ. для вузов по специальности «Математика» и «Физика». 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1989.
4. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. М.: Машиностроение, 1972.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алерборн Михаил Иванович – дир. ООО Научно-технического центра «Геофизические измерения» (НТЦ ГИ) (630003, г. Новосибирск, ул. Владимировская, д. 1 а), тел. 8(383) 230-17-94, e-mail: ntcgi@mail.ru;

Багрецов Сергей Алексеевич – Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), тел. (812) 235-85-77, д-р техн. наук, д-р экон. наук, проф.;

Бараш Андрей Леонидович – зав. каф. строительных машин (автомобильной, грузоподъемной техники, эксплуатации и ремонта) Военного инженерно-технического университета (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22), тел. (812) 272-86-84, канд. техн. наук, доц.;

Белякова Людмила Анатольевна – Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Воробьев Владимир Иванович – зав. лабораторией информац.-вычисл. систем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (199178, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, д. 39), тел. (812) 328-43-69, e-mail: vvi@iias.spb.su, д-р техн. наук, проф.;

Глушков Алексей Иванович – ген. конструктор универсального комплекса пункта сбора и обработки геофизической информации ООО Научно-технического центра «Геофизические измерения» (НТЦ ГИ) (630003, г. Новосибирск, ул. Владимировская, д. 1 а), тел. 8(383) 230-17-94, e-mail: ntcgi@mail.ru;

Грачев Евгений Васильевич – проф. каф. механики и инженерной графики Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. школы РФ.

Громов Виктор Никифорович – проф. каф. Военного инженерно-технического университета (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская д. 22), д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. школы РФ;

Доррер Георгий Алексеевич – вед. науч. сотр. Центра научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50 а), тел. (391) 251-10-66, e-mail: g\_a\_dorger@mail.ru., д-р техн. наук, проф.;

Дружинин Петр Владимирович – проф. каф. строительных машин (автомобильной, грузоподъемной техники, эксплуатации и ремонта) Военного инженерно-технического университета (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22), тел. (812) 272-86-84, д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. школы РФ, почет. проф. ВИТУ;

Зайченко Павел Алексеевич – доц. каф. строительных машин (автомобильной, грузоподъемной техники, эксплуатации и ремонта) Военного инженерно-технического университета (191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 22), тел. (812) 272-86-84, канд. техн. наук, доц.;

Иванов Александр Николаевич – доц. каф. прикладной матем. и системного анализа Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Иванов Константин Серафимович – нач. каф. механики и инженерной графики Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 773-21-80, канд. техн. наук, доц.;

Коморовский Витольд Станиславович – ст. препод. ГОУ ВПО Сибирского государственного технологического университета (660049, г. Красноярск, пр. Мира, д. 82), e-mail: komorovski.w@mail.ru, канд. техн. наук;

Крашенинников Михаил Васильевич – зам. дир. по науч. работе ООО Научно-технического центра «Геофизические измерения» (НТЦ ГИ) (630003, г. Новосибирск,

ул. Владимирская, д. 1 а), тел. 8(383)230-17-94, e-mail: ntcgi@mail.ru, канд. физ.-матем. наук;

Малый Виталий Петрович – зав. каф. естеств. наук и информац. технол. ГОУ ВПО КГПУ им. В.П. Астафьева (660049 г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89), тел. (391) 217-17-17, e-mail: ksru@ksru.ru, д-р физ.-матем. наук, проф.;

Матеров Евгений Николаевич – зав. каф. естественно-научных дисциплин Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. физ.-матем. наук;

Медведева Ольга Марленовна – доц. каф. высш. матем. и системного моделир. сложных процессов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Мельник Антон Анатольевич – зам. нач. Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, нач. Центра НИОКР (660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50 а), e-mail: melnik-sib.centra@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Мисевич Юлия Владимировна – зам. нач. каф. механики и инженер. графики Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 773-21-80, e-mail: MissJulli@yandex.ru, канд. техн. наук;

Овчинников Андрей Олегович – проф. каф. высш. матем. и системного моделир. сложных процессов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 370-03-37, email: aoovchin@mail.ru, д-р физ.-матем. наук, проф.;

Поляков Александр Степанович – проф. каф. физики и теплотехники Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

Попов Василий Владимирович – нач. каф. высш. матем. и систем. моделир. сложных процессов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук;

Потапов Анатолий Иванович – зав. каф. «Приборы контроля и систем экологической безопасности» Северо-Западного гос. заочного технического университета (199106, Санкт-Петербург, 21 линия ВО, д. 2), д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

Потапов Иван Анатольевич – препод. каф. «Приборы контроля и системы экологической безопасности» Северо-Западного гос. заочного технического университета (199106, Санкт-Петербург, 21 линия ВО, д. 2), канд. техн. наук;

Самойлов Борис Викторович – инженер каф. «Приборы контроля и системы экологической безопасности» Северо-Западного гос. заочного технического университета (199106, Санкт-Петербург, 21 линия ВО, д. 2);

Фаткиева Роза Равильевна – ст. науч. сотр. Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (199178, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, д. 39), тел. (812) 328-43-69, e-mail: rikki2@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Шишкин Владимир Михайлович – ст. науч. сотр. Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (199178, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, д. 39), тел. (812) 328-31-12, e-mail: vms@iiias.spb.su, канд. техн. наук, доц.



---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий – высшее учебное заведение, реализующее программы высшего профессионального образования, а также образовательные программы послевузовского профессионального образования по подготовке научных, научно-технических и научно-педагогических кадров (адъюнктура). Институт дополнительного профессионального образования (в составе университета) осуществляет переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Сегодня университет является высшим учебным заведением федерального подчинения, имеющим статус юридического лица и реализующим профессиональные образовательные программы высшего, среднего, послевузовского и дополнительного образования.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках направления – «Безопасность жизнедеятельности», вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, бюджетного учета и аудита в организациях МЧС, пожарно-технические эксперты и дознаватели. В 2007 году в Рособрнадзоре аккредитована специализация «Проведение проверок и дознания по делам о пожарах» в рамках специальности «Юриспруденция».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований, постоянный поиск оптимальных путей решения современных проблем позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня на 32 кафедрах университета свои знания и огромный опыт передают 1 академик РАН, 8 заслуженных деятелей науки РФ, 21 заслуженный работник высшей школы РФ, 3 заслуженных юриста РФ, заслуженные изобретатели РФ и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время в университете осуществляют: 3 лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники, 85 докторов наук, 269 кандидатов наук, 85 профессоров, 147 доцентов, 20 академиков, 15 членов-корреспондентов, 4 почетных работника высшего профессионального образования РФ, 1 почетных работник науки и техники РФ, 1 почетный работник высшей школы РФ и 1 почетный работник прокуратуры РФ.

Начальник университета – Артамонов Владимир Сергеевич, генерал-полковник внутренней службы, доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, эксперт Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ по проблемам управления, информатики и вычислительной техники, член Аттестационной комиссии по вопросам присвоения ученых званий профессора и доцента по кафедре, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

В состав университета входят:

- Институт дополнительного профессионального образования;
- Институт заочного и дистанционного обучения;

– Институт безопасности жизнедеятельности.

Три факультета:

– пожарной безопасности;

– экономики и права;

– подготовки и переподготовки научных и научно-педагогических кадров.

Филиал университета: Сибирский институт пожарной безопасности, г. Железногорск, Красноярский край.

Университет имеет представительства в других городах: Стрижевой (Томская обл.), Магадан, Мурманск, Алматы (Казахстан), Полярные Зори (Мурманская обл.), Махачкала, Выборг (Ленинградская обл.), Чехов (Московская обл.).

В университете созданы:

– центр организации и координации учебно-методической работы;

– центр организации и координации научных исследований;

– центр автоматизации задач управления;

– учебно-научный центр инженерно-технических экспертиз;

– центр дистанционного обучения;

– экспертный центр;

– центр организации и координации международной деятельности;

– технопарк науки и инновационных технологий.

Университет осуществляет подготовку по программам высшего и среднего профессионального образования по следующим специальностям:

Специальность	Квалификация	Направление	Специализация	Предназначение
Пожарная безопасность	Инженер (старший техник)	Безопасность жизнедеятельности	Пожаротушение, государственный пожарный надзор	Органы управления и подразделения МЧС России
Психология	Психолог	Гуманитарные науки	Безопасность при ЧС	Психологическое обеспечение деятельности МЧС России
Юриспруденция	Юрист	Гуманитарные науки	Безопасность при ЧС Проведение проверок и дознаний по делам о пожарах	Законодательное и правовое регулирование в обеспечении деятельности МЧС России
Бухгалтерский учет, анализ и аудит	Экономист	Экономика и управление	Бухгалтерский учет, анализ и контроль в бюджетных и некоммерческих организациях	Бюджетный учет и учет в подразделениях МЧС России
Системный анализ и управление	Бакалавр техники и технологии	Автоматика и управление		Подразделения управления силами и средствами
Прикладная математика	Инженер-математик	Информатика и вычислительная техника	Информационные технологии в системе управления ГПС	Аналитические подразделения
Безопасность технологических процессов и производств	Инженер	Безопасность жизнедеятельности		Подразделения МЧС России по охране спец. объектов и объектов национального достояния



Специальность	Квалификация	Направление	Специализация	Предназначение
Судебная экспертиза	Судебный эксперт	Гуманитарные науки	Инженерно-технические экспертизы	Дознание по делам о пожарах, испытательные пожарные лаборатории
Автомобили и автомобильное хозяйство	Инженер	Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования	Техническая эксплуатация автомобилей	Автомобильное хозяйство, автопарки МЧС России
Управление персоналом	Менеджер	Экономика и управление	Управление персоналом в организациях МЧС России	Кадровой аппарат подразделения МЧС России
Государственное и муниципальное управление	Менеджер	Экономика и управление	Управление при ЧС	Организация управления в подразделениях МЧС России
Менеджмент организации	Менеджер	Экономика и управление	Менеджмент в материально-техническом обеспечении	Пожарно-технические центры, тыловые подразделения
Организация и технология защиты информации	Специалист по защите информации	Информационная безопасность	Защита информационных процессов в компьютерных системах и вычислительных сетях МЧС России	Обеспечение информационной безопасности в подразделениях МЧС России
Безопасность жизнедеятельности	Учитель безопасности жизнедеятельности	Образование и педагогика		Подготовка преподавателей учебных центров
Защита в чрезвычайных ситуациях	Инженер	Безопасность жизнедеятельности		Органы управления и подразделения МЧС России
Дополнительное образование				
На основе специальности «Пожарная безопасность»	Переводчик в сфере профессиональной коммуникации	Безопасность жизнедеятельности		Органы управления и подразделения МЧС России

В университете действуют четыре диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим, педагогическим и психологическим наукам.

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

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. На базе университета совместные научные конференции и совещания проводили Правительство Ленинградской области и Федеральная служба Российской Федерации по контролю за оборотом наркотических средств и психотропных веществ, научно-технический совет МЧС России и Высшая аттестационная комиссия Министерства образования и науки Российской Федерации, Северо-Западный региональный центр МЧС России, Международная ассоциация пожарных и спасателей (СТИФ).

Вуз является членом Международной ассоциации пожарных «Институт пожарных инженеров», объединяющей более 20 стран мира. В настоящее время университет проводит совместные научные исследования с пожарно-техническими службами США по проблемам борьбы с огнем в условиях низких температур и отдаленных территорий, сотрудничает с Учебным пожарным центром г. Куопио (Финляндия), осуществляет проект по обмену курсантами и профессорско-преподавательским составом с пожарным департаментом г. Линдесберг (Швеция). Разработана и успешно осуществляется программа совместных действий по тушению пожаров на границе России и Финляндии. В целях объединения усилий научных работников и ведущих специалистов в области гражданской защиты для создания более эффективной системы подготовки высококвалифицированных кадров пожарных и спасателей по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также повышения уровня научно-исследовательской и педагогической работы в 2004–2005 гг. учебным заведением были подписаны соглашения о сотрудничестве с Государственным институтом Гражданской Защиты Французской Республики, университетом Восточного Кентукки (США), Центром исправительных технологий северо-запада США, Государственной пожарной школой Гамбурга (Германия), учебными заведениями пожарно-спасательного профиля стран СНГ.

За годы существования университет подготовил более 1000 специалистов для пожарной охраны Афганистана, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Гвинеи-Бисау, Кореи, Кубы, Монголии, Йемена и других зарубежных стран. В 2008 г. по направлению Международной организации гражданской обороны в университете по программам повышения квалификации обучались сотрудники пожарно-спасательных служб Иордании, Бахрейна, Азербайджана, Монголии и Молдавии.

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

Нарастающие сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации учебного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения, приобретающими статус одной из равноправных форм обучения.

В настоящее время аудитории, в которых проходят занятия, оснащены телевизорами и техникой для просмотра методических пособий на цифровых носителях, интерактивными учебными досками. Библиотека университета соответствует всем современным требованиям: каждое рабочее место читального зала оборудовано индивидуальным средством освещения,

в зале установлены компьютеры с возможностью выхода в Интернет, телевизоры и видеотехника для просмотра учебных пособий, произведена полная замена мебели. Общий фонд библиотек составляет сегодня более 320 тыс. экземпляров.

Библиотека выписывает свыше 100 наименований журналов и 15 наименований газет, в том числе обязательные, в соответствии с ГОСВПО. Университет активно сотрудничает с ВНИИПО МЧС России и ВНИИ ГО и ЧС МЧС России, которые ежемесячно присылают свои издания, необходимые для учебного процесса и научной деятельности университета. В работе библиотеки используется автоматизированная библиотечная система ИРБИС, которая включена в единую локальную сеть университета.

Университет обладает современным общежитием для курсантов и студентов учебного заведения. В общежитии созданы интернет-кафе, видеозал, зал для фитнеса.

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

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

Курсанты и слушатели университета имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей. Налажены связи с театрами и концертными залами города. 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 *резолуцией* заместителя начальника университета по научной работе. Материал должен сопровождаться:

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

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

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

Автор1\_Автор2 - Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов - Анализ существующей практики.doc**;

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

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

#### **3. Оформление текста:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

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

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

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

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

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

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

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

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Примеры оформления списка литературы:

### **Литература**

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

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев, С.В. Шарапов, С.В. Тарасов, С.А. Кондратьев // 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. Грещану 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: электронный научный журнал. 2006. № 4 [Электронный ресурс]. 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 от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // СЗ РФ. 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; ученую степень, ученое звание, почетное звание; номер телефона, адрес электронной почты.

**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**

**Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы**

Научно-аналитический журнал

**Природные и техногенные риски  
(физико-математические и прикладные аспекты)  
№ 1 – 2012**

Главный редактор Е.Ю. Сычева  
Редактор И.В. Дмитриева

---

Подписано в печать 27.03.2012. Формат 60×86<sub>1/8</sub>.

Усл.-печ. л. 14,75. Тираж 1000 экз.

---

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