



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

12(108)  
2009

## СОДЕРЖАНИЕ

### Редакционный совет:

АКИМОВ В. А.  
БАЛЫХИН Г. А.  
БЕЛОВ С. В.  
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.  
(председатель)  
МАХУТОВ Н. А.  
ПАВЛИХИН Г. П.  
СИДОРОВ В. И.  
СОКОЛОВ Э. М.  
ТЕТЕРИН И. М.  
ТИШКОВ К. Н.  
УШАКОВ И. Б.  
ФЕДОРОВ М. П.  
ЧЕРЕШНЕВ В. А.  
АНТОНОВ Б. И.  
(директор издательства)

### Главный редактор

РУСАК О. Н.

### Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

### Ответственный секретарь

ПРОНИН И. С.

### Редакционная коллегия:

ГЕНДЕЛЬ Г. Л.  
ГРУНИЧЕВ Н. С.  
ИВАНОВ Н. И.  
КАЛЕДИНА Н. О.  
КАРНАУХ Н. Н.  
КАРТАШОВ С. В.  
КАЧАНОВ С. А.  
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.  
КСЕНОФОНТОВ Б. С.  
КУКУШКИН Ю. А.  
МАСТРЮКОВ Б. С.  
МЕДВЕДЕВ В. Т.  
ПАНАРИН В. М.  
ПОЛАНДОВ Ю. Х.  
ПОПОВ В. М.  
СИДОРОВ А. И.  
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.  
ФРИДЛАНД С. В.  
ХАБАРОВА Е. И.  
ЦХАДАЯ Н. Д.  
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

### ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Ушаков И. Б., Бухтияров И. В., Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В., Сипаков А. С. Прогностические аспекты оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов . . . . . 2

### ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мамаев В. К., Власов Е. Н. Сравнительный анализ акустических характеристик отечественных и зарубежных центробежных компрессорных машин . . . . . 8

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Мехтиев А. Ш., Азизов Б. М., Мехтиев Д. С. Об оценке теплопроводности почв, загрязненных нефтепродуктами в тепловом ИК-диапазоне . . . . . 13  
Сандуляк А. А. Феррозагрязнение технологического процесса — риск опасной эксплуатации оборудования — базовые зависимости . . . . . 17  
Славинская Г. В., Ковалева О. В. Влияние поверхностно-активных веществ естественного и искусственного происхождения на качество питьевой воды . . . . . 21

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Абросимов Ю. Г., Хоань Зань Бинь. Расчет потерь напора при течении воды в рукавных линиях противопожарного водоснабжения . . . . . 26  
Кузнецов Г. В., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Прогностический анализ пожарной опасности возгораний жидких топлив при проведении ремонтных работ на тепловых электрических станциях . . . . . 32  
Мурадов А. В., Волохина А. Т., Глебова Е. В., Иванова М. В. Аварийность магистральных газопроводов с учетом человеческого фактора . . . . . 37  
Пузач С. В., Абакумов Е. С., Нгуен Тхань Хай. Определение скорости опускания нижней границы припотолочного газового слоя при пожаре в атриуме . . . . . 41

### ОБРАЗОВАНИЕ

Лаптева О. И. Формирование компетенций интерактивными методами обучения на занятиях безопасности жизнедеятельности в вузе . . . . . 47

### ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в журнале "Безопасность жизнедеятельности" в 2009 году . . . . . 51  
Указатель приложений к журналу "Безопасность жизнедеятельности", опубликованных в 2009 году . . . . . 56

Приложение. Аполлонский С. М. Электромагнитные поля в общей проблеме безопасности жизнедеятельности человека (окончание — начало см. в № 11 — 2009 г.).

Журнал входит в "Перечень ведущих и рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук" и включен в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 331.43

**И. Б. Ушаков**, д-р мед. наук., проф., член-корр. РАН, акад. РАМН,  
**И. В. Бухтияров**, д-р мед. наук, проф., **С. К. Солдатов**, д-р мед. наук, проф.,  
**Ю. А. Кукушкин**, д-р техн. наук, проф., **А. В. Богомолов**, д-р техн. наук, проф.,  
**А. С. Сипаков**, канд. техн. наук,  
ФГУ "Государственный научно-исследовательский  
испытательный институт военной медицины Минобороны России"  
E-mail: Gniil24@yandex.ru

## Прогностические аспекты оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов

*Рассмотрены прогностические аспекты оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов. Для эффективной и качественной реализации медицинских мероприятий на химически опасных объектах предлагается осуществлять управление здоровьем персонала с позиций использования методологии оценивания риска.*

**Ключевые слова:** химически опасные объекты, риск здоровью, методология оценивания риска, медицинские мероприятия.

**Ushakov I. B., Bukhtiyarov I. V., Soldatov S. K., Kukushkin Ju. A., Bogomolov A. V., Sipakov A. S. Evaluative prognostic aspects of health risk of personnel of chemical dangerous objects**

*Evaluative prognostic aspects of health risk of personnel, working at the chemically dangerous objects are considered. In order to ensure effective and qualitative realization of medical actions at the chemically dangerous objects it is offered to carryout personnel health management with the use of evaluative methodology of risk.*

**Keywords:** chemically dangerous objects, risk of health, evaluative methodology of risk, medical actions.

Как показывает практика, достигнуть полной автоматизации функционирования химически опасных объектов без участия человека невозможно. Способности человека оперативно решать задачи, не поддающиеся автоматизации, делают его необходимым звеном в системах управления такими объектами.

Условия труда на химически опасных объектах характеризуются наличием неблагоприятных факторов, условий профессиональной деятельности персонала. Это является предпосылкой к отклонениям в здоровье человека вплоть до развития заболеваний. Степень влияния неблагоприятных факторов профессиональных условий деятельности на здоро-

вье персонала зависит от интенсивности и продолжительности их воздействия, а также от перечня защитных (профилактических) мероприятий и характеристик используемых персоналом средств защиты, которые выполняют основную роль — защиту организма человека — в ряде случаев оказывают дополнительное благоприятное воздействие на организм. Кроме этого, величина ущерба здоровью персонала зависит от уровня его профессионального здоровья.

Вследствие различий работников по уровню профессионального здоровья, а также непостоянства значений индивидуальных показателей здоровья и показателей неблагоприятного воздействия факторов условий профессиональной деятельности во времени, реализация ущерба здоровью имеет высокую степень неопределенности в будущем, в том числе, и при условии работы персонала в штатном режиме с соблюдением всех регламентированных требований безопасности.

Для расчета прогностической оценки степени неблагоприятного влияния вредных и опасных факторов условий профессиональной деятельности необходим соответствующий инструментарий.

В этой связи к актуальным задачам можно отнести:

— создание экспертных систем прогностической оценки степени влияния на персонал факторов условий профессиональной деятельности для использования в процессе разработки технологий и технологического оборудования, при расследовании причин инцидентов и аварий;

— разработку автоматизированных систем контроля, сигнализации и минимизации неблагоприятного воздействия вредных и опасных факторов;

— осуществление контроля состояния здоровья персонала в интересах нормирования режима труда и отдыха и для обоснования мероприятий, направленных на обеспечение сохранения его здоровья и пролонгирование работоспособного состояния.

В настоящее время широкое распространение при выборе стратегии управления здоровьем получили методы *оценки риска здоровью*, которые на количественно-качественном уровне позволяют определять возможность нанесения ущерба здоровью человека в пределах определенного периода времени и/или в конкретных обстоятельствах [1].

Проведение оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов предполагает выполнение анализа комплекса условий трудовой деятельности и показателей здоровья с целью выявления факторов риска нарушения здоровья с последующим вычислением *интегрального показателя риска* (ИПР), позволяющего учитывать комплексное воздействие факторов риска на организм в целом, а также его резистентность к факторам окружающей среды [2].

Использование ИПР позволяет решать следующие задачи:

- определение влияния на здоровье персонала интенсивности и временных характеристик факторов условий профессиональной деятельности с учетом применения защитных средств и профилактических мероприятий;

- формирование групп риска для регулирования периодичности и глубины проведения мероприятий по охране здоровья;

- сопоставление результатов, полученных на индивидуальном уровне, с результатами коллективно-когортных исследований;

- отражение результата воздействия на персонал факторов условий профессиональной деятельности в виде понятного для специалистов практической отрасли интегрального показателя — ИПР.

С учетом того, что ИПР должен агрегировать различные комплексные структуры компонентов, описывающих воздействие факторов риска на организм и уровень профессионального здоровья персонала, его построение представляется целесообразным производить в виде иерархической структуры, нижним уровнем которой являются значения факторов риска, верхним уровнем — ИПР, а промежуточными уровнями — компоненты ИПР (рис. 1).

Первичные показатели риска образуют множество отдельных категорий риска, характеризующих величину риска здоровью при воздействии конкретного вредного фактора окружающей среды. Результаты свертки первичных показателей риска представляются в виде вектора в многомерном пространстве (сводного показателя 2-го уровня), для которого далее рассчитывается ИПР.

Компонентный состав ИПР устанавливается экспертом (группой экспертов) в зависимости от конкретной решаемой задачи и служит для определения сводных показателей риска, отражающих профиль

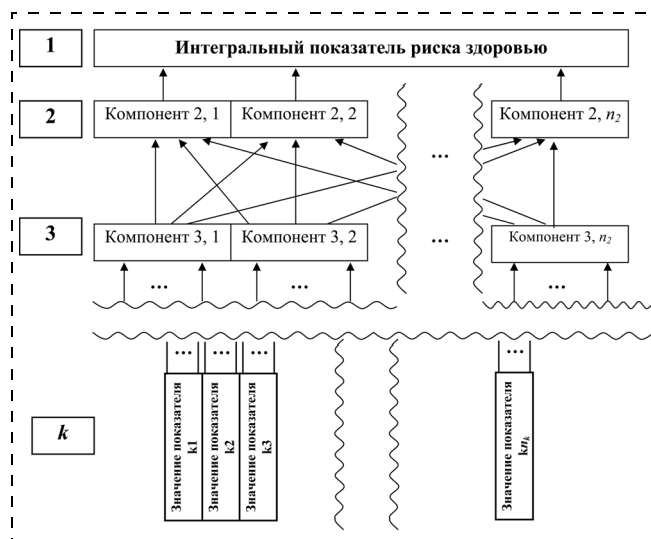


Рис. 1. Схема построения ИПР

воздействия факторов условий профессиональной деятельности.

В практике решения прикладных задач оценивания риска для расчета ИПР используют следующие методические подходы [3]:

- использование вероятности событий, рассчитанной статистическими методами;

- использование субъективных вероятностей, определенных путем оценки экспертом априорных вероятностей событий;

- использование субъективных весов в виде показателей значимости отдельных сценариев, т. е. прогностических изменений характеристик объекта.

Выбор конкретного метода расчета ИПР зависит от специфики задачи оценивания риска. Так, методические подходы к оцениванию риска здоровью персонала химически опасных объектов зачастую связаны с необходимостью нахождения решения в условиях высокой неопределенности и при отсутствии достаточного массива статистических данных, многокритериальностью, использованием в расчетах ИПР совокупности количественных и качественных показателей. Это обуславливает применение при оценивании риска здоровью персонала химически опасных объектов субъективных оценок прогностической значимости показателей, оперирование которыми целесообразно осуществлять методами теории нечетких множеств. Основное преимущество такого подхода состоит в возможности расчета количественных категорий, используя функции принадлежности, которые строятся для каждого фактора риска относительно лингвистической переменной "дифференциальный показатель риска здоровью", учитывающей мнения экспертов и принимающей значения из установленного ряда градаций риска здоровью.

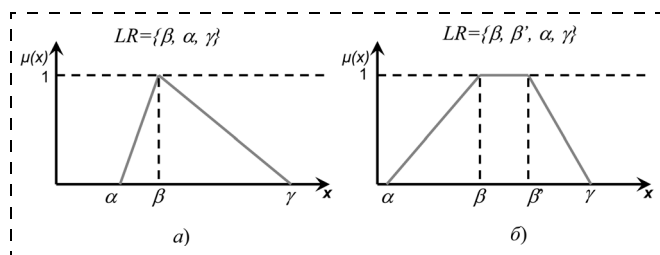


Рис. 2. Графическое представление функций принадлежности нечеткого числа (а) и нечеткого интервала (б) LR-вида

Анализ современных методов оперирования нечеткими множествами показал, что для расчета ИПР функции принадлежности терм-множеств целесообразно представлять в виде нечетких чисел и нечетких интервалов LR-типа, которые задаются упорядоченным набором реперных точек [2].

Нечеткое число LR-типа однозначно задается тремя реперными точками (рис. 2, а):

$$LR = \{\beta, \alpha, \gamma\},$$

где  $\beta$  — точка базовой шкалы, в которой значение функции принадлежности равно 1;  $\alpha$  — координата ближайшей слева к  $x = \beta$  точки базовой шкалы, в которой функция принадлежности принимает нулевое значение;  $\gamma$  — координата ближайшей справа к  $x = \beta$  точки базовой шкалы, в которой функция принадлежности принимает нулевое значение.

Нечеткий интервал однозначно задается четырьмя реперными точками (рис. 2, б):

$$LR = \{\beta, \beta', \alpha, \gamma\},$$

где  $\beta, \beta'$  — левая и правая точки базовой шкалы, в которых значение функции принадлежности равно 1;  $\gamma$  — координата ближайшей справа к  $x = \beta'$  точки базовой шкалы, в которой функция принадлежности принимает нулевое значение.

При таком представлении точка  $\beta$  для нечеткого числа и интервал  $[\beta, \beta']$  для нечеткого интервала указывают на значение моды (объект — точка базовой шкалы, полностью соответствующий понятию, описываемому термом — вербальным значением лингвистической переменной), а пересечения с осью абсцисс слева и справа от вершины "отсекают" диапазон базовой шкалы, соответствующий понятию, описываемому элементом из терм-множества лингвистической переменной, соответствующей фактору риска.

В соответствии с предложенным подходом разработан метод оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов, структура которого приведена на рис. 3.

Процедура синтеза ИПР предполагает расчет латентных (промежуточных) показателей каждого уровня иерархии и агрегирование полученных значений в обобщенный показатель. На основе анализа

современных методов иерархической свертки показателей для решения задач оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов (расчет ИПР) целесообразно использовать перечисленные ниже математические операции.

- Многокритериальный выбор на основе пересечения нечетких множеств [4]:

$$\mu_D(a^*) = \sup_{j=1, \dots, m} \mu_D(a_j),$$

где  $a_j$  — элемент множества категорий риска (альтернатив)  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}, j = 1, \dots, m$ ;  $a^*$  — оптимальная категория риска, определяемая путем поиска максимума функции принадлежности альтернатив  $a_j \mu_D(a_j)$ , описывающей результат пересечения нечетких множеств, соответствующих критериям риска  $C_i \in C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ :

$$D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n.$$

Применение этой операции сводит к минимуму ошибки 2-го рода, при этом ошибки 1-го рода достигают наибольших значений по сравнению с предложенными операциями.

- Многокритериальный выбор на основе аддитивной свертки [5]

$$\mu_R(a^*) = \sup_{r_k \geq r_j, j=1, \dots, m} \min \mu_R(r_j),$$

где  $\mu_R(a^*)$  — нечеткое множество категорий риска, соответствующее понятию "оптимальная категория";  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  — множество взвешенных оценок категорий риска (альтернатив)  $a$ ;  $\mu_R(r_j)$  — функция принадлежности взвешенных оценок риска.

Эта операция предусматривает представление значений функций принадлежности термов лингвистической переменной "дифференциальный показатель риска здоровью" в виде нечетких чисел, что усиливает "размытость" границ множества оценок.

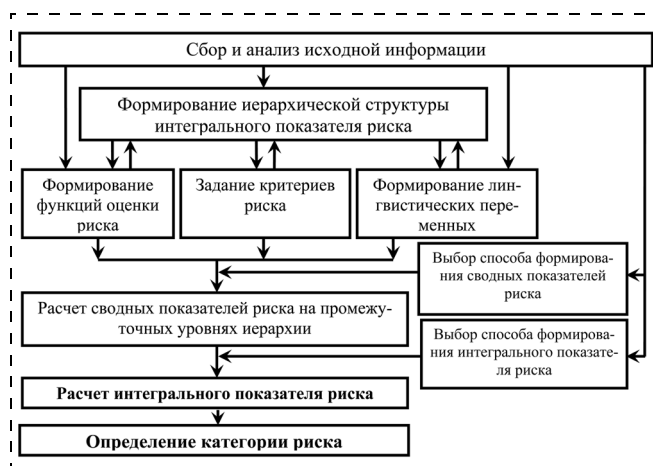


Рис. 3. Структура метода оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов

При этом возможные категории риска получают самые высокие оценки, а все остальные категории оцениваются значениями близкими к нулю.

- Многокритериальный выбор на основе нечеткого отношения предпочтения [6]:

$$A^{\text{НД}} = \{a^* | a^* \in A, \mu^{\text{НД}}(a^*) = \sup_{a \in A} \mu^{\text{НД}}(a)\},$$

где  $A^{\text{НД}}$  — подмножество недоминируемых категорий риска (альтернатив);  $\mu^{\text{НД}}(a)$  — функция принадлежности нечеткого подмножества недоминируемых категорий риска.

Благодаря использованию нечетких отношений, предопределяющих семантику выбора категорий риска для образования соответствующего множества кортежей, результаты этой операции позволяют не только определить "худшую" и "лучшую" альтернативы (категории риска), но и построить относительное сравнение альтернатив (категорий риска) по всему множеству критериев. Недостатком операции является возможность получения ошибок 1-го рода.

- Многокритериальный выбор на множестве лингвистических векторных оценок [5]:

$$r_j < r_l \Leftrightarrow \mu_{\geq}^F(a_j; \{a_k\}, k \in I_j) > \mu_{\geq}^F(a_l; \{a_k\}, k \in I_l);$$

$$r_j = r_l \Leftrightarrow \mu_{\geq}^F(a_j; \{a_k\}, k \in I_j) = \mu_{\geq}^F(a_l; \{a_k\}, k \in I_l),$$

где  $r$  — ранг категории риска (альтернативы);  $I_j(I_l)$  — множество индексов категорий риска, с которыми может сравниваться категория  $a_j(a_l)$ ;  $\mu_{\geq}^F(a_j, a_l)$  — функция принадлежности нечеткого отношения предпочтения на множестве категорий риска, построенная с использованием множества векторных лингвистических оценок  $F$ .

Результатом операции является реализация "пессимистического" подхода, игнорирующего соответствие категории риска условиям труда, когда оптимальной считается категория риска, имеющая минимальные несоответствия условиям труда по всем критериям.

- Многокритериальный выбор с использованием правила нечеткого вывода [5]:

$$F(E_j) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{j\alpha}) d\alpha, \alpha \in [0, 1];$$

$$E_{j\alpha} = \{i | \mu_{E_j}(i) \geq \alpha, i \in I\};$$

$$\mu_{E_j}(i) = \max_{a \in A} (\min(\mu_{G_j}(a), \mu_D(a))),$$

где  $F(E_j)$  — точечная оценка категории риска (альтернативы)  $a_j$ ;  $E_j$  — степень соответствия категории риска (альтернативы)  $a_j$ ;  $M(E_{j\alpha})$  — мощность  $\alpha$ -уровневого множества  $E_{j\alpha}$ ;  $I$  — единичный интервал;

$D$  — общее функциональное решение на основе пересечения множеств высказываний вида "если условие, то решение";  $G_j$  — отображение альтернативы  $a_j$  на множество лингвистических оценок.

На практике данная операция применяется при наличии совокупности продукционных правил вида если условие, то решение. При этом антецеденты (посылки, левые части) правил содержат комбинации критериев с соответствующими значениями, косеквенты (следствия, правые части) отражают степень удовлетворительности решения.

Процедура свертки не может быть до конца формализована и определяется спецификой задачи, целями, опытом и интуицией исследователя [7]. При этом для определения категории риска, соответствующей реальным условиям трудовой деятельности персонала химически опасных объектов, существует три подхода (рис. 4).

1. Выбор категории риска, имеющей минимальные несоответствия условиям труда на множестве факторов риска.

2. Выбор категории риска, имеющей максимальные соответствия условиям труда на множестве факторов риска.

3. Выбор категории риска производится на основе взвешенной оценки, учитывающей относительные оценки на всем множестве факторов риска.

При апробации разработанного метода обследованный контингент персонала включал представителей трех профессиональных подгрупп:

1-я — персонал непосредственно и систематически выполняющий работы с опасными химическими веществами в полном комплекте средств индивидуальной защиты;

2-я — персонал, эпизодически работающий с опасными химическими веществами;

3-я — персонал, не контактирующий с опасными химическими веществами.

Структура интегрального показателя риска здоровью персонала химически опасных объектов объединяет три иерархических уровня показателей: 1) уровень первичных показателей риска, 2) уровень

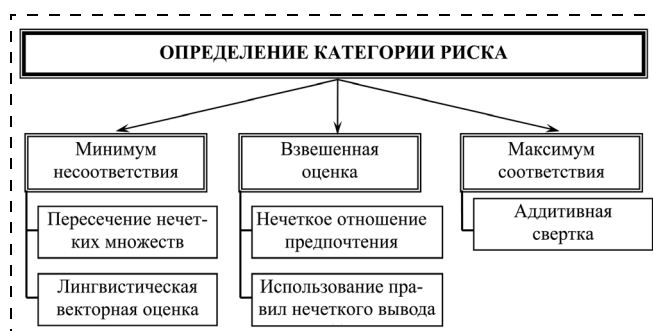


Рис. 4. Схема выбора операций свертки значений в обобщенный показатель



Рис. 5. Обобщенная иерархическая структура интегрального показателя риска

сводных показателей риска, которые агрегируются в 3) интегральный показатель риска (рис. 5).

Исходные первичные показатели риска здоровью персонала были сгруппированы по следующим критериям:

- производственные факторы риска: содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ, тепловая нагрузка среды, напряженность трудового процесса и др.;
- производственные факторы риска: физическая активность работников, вредные привычки и др.;
- объективная оценка состояния здоровья: оценка антропометрических показателей, физиологических, иммунных и др.;
- субъективная оценка работником своего состояния здоровья: обобщенная оценка здоровья, уровень утомляемости и др.

В качестве компонентов ИПР предлагается использовать сводные показатели риска расстройств (заболеваний) по следующим функциональным системам организма: нервная система; иммунная система; органы дыхания; пищеварительная система; кровь и кровеносные органы; сердечно-сосудистая система; кожа и органы зрения. Компонентный состав ИПР определялся на основе результатов анализа исходной информации по наиболее подверженному воздействию неблагоприятных факторов условий профессиональной деятельности.

В качестве значений лингвистической переменной "Дифференциальный показатель риска здоровью" использовалось шесть категорий риска: риск отсутствует, пренебрежимо малый (переносимый)

риск, малый (умеренный) риск, средний (существенный) риск, высокий (непереносимый) риск, очень высокий (сложно переносимый) риск [8].

Функции принадлежности категорий риска (термов) лингвистической переменной "Дифференциальный показатель риска здоровью" по каждому фактору риска формировались с применением экспертных оценок неблагоприятного воздействия вредных факторов условий деятельности на здоровье персонала и санитарно-гигиенических нормативов. В качестве экспертов выступали высококвалифицированные специалисты медицинских служб химически опасных объектов.

Экспертное оценивание проводилось с использованием метода аналитических сетей [9]. Этот метод позволяет применительно к решаемой задаче определять относительную значимость неблагоприятного воздействия вредных факторов условий деятельности для выбранных

функциональных систем человека, численно выраженную в виде векторов приоритетов.

Так, при задании терм-множества лингвистической переменной "Дифференциальный показатель риска здоровью при воздействии тепловой нагрузки среды" использовалось шесть термов, описываемых функциями принадлежности в виде нечетких чисел LR-типа (рис. 6).

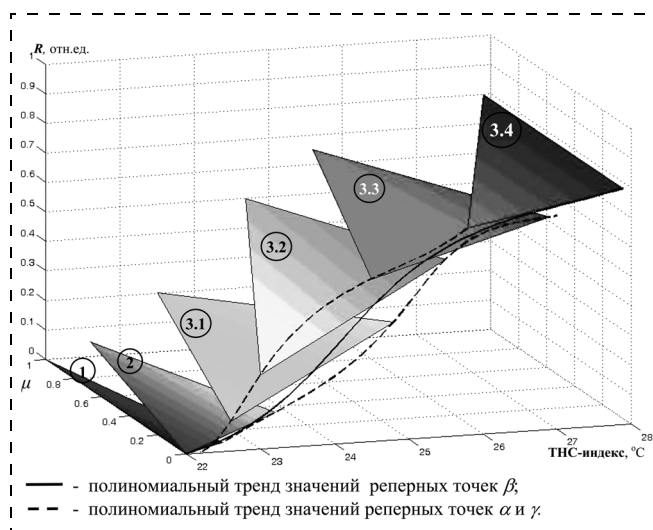


Рис. 6. Графическое представление лингвистической переменной "Дифференциальный показатель риска здоровью при воздействии тепловой нагрузки среды":  $R$  — показатель риска;  $\mu$  — функция принадлежности; термы переменной:

1 — риск отсутствует; 2 — пренебрежимо малый риск; 3.1 — малый риск; 3.2 — средний риск; 3.3 — высокий риск; 3.4 — очень высокий риск

**Значения реперных точек функций принадлежности термов лингвистической переменной "Дифференциальный показатель риска здоровью при воздействии тепловой нагрузки среды"**

Показатель	Реперные точки	Категория риска					
		Отсутствует	Пренебрежимо малый	Малый	Средний	Высокий	Очень высокий
ТНС-индекс, °С	$\alpha$	—	22,0	22,6	23,0	24,5	25,8
	$\beta$	22,0	22,6	23,5	24,7	25,6	27,9
	$\gamma$	22,5	23,2	24,8	25,5	26,9	—

При построении функций принадлежности по каждому терму этой лингвистической переменной использовались интервальные значения тепловой нагрузки среды — ТНС-индекса — для соответствующей категории риска [10].

Фазификация (введение нечеткости) характеристик тепловой нагрузки среды проводилась путем экспертного оценивания, заключающемся в парном сравнении экспертом риска расстройств (заболеваний) функциональных систем организма по отношению к неблагоприятному воздействию тепловой нагрузки среды. На основе векторов приоритетов, полученных путем обработки результатов оценивания методом аналитических сетей, задавались значения реперных точек функций принадлежности (см. таблицу).

Для агрегирования значений факторов риска в обобщенные показатели и затем в ИПР использовались операции: нечеткое отношение предпочтения; нечеткий вывод; аддитивная свертка; ранжирование на множестве лингвистических векторных оценок [11].

По результатам оценивания риска здоровью обследуемого персонала был построен индивидуальный профиль риска с учетом специфики профессиональной деятельности во временном интервале между обследованиями, что позволило прогнозировать возможные нарушения здоровья вследствие влияния неблагоприятных факторов условий профессиональной деятельности для профилактики ближайших и отдаленных последствий их воздействия. Значения интегрального показателя риска для персонала 1-й профессиональной подгруппы составили [0,5...0,65], что соответствует категориям "средний", для персонала 2-й профессиональной подгруппы — [0,15...0,45], что соответствует категориям "малый" и "средний", для 3-й профессиональной подгруппы — [0,05...0,15], что соответствует категориям "пренебрежимо малый" и "малый" [8].

Для оценивания корректности решений было проведено ретроспективное изучение данных ежегодных отчетов по оценке состояния здоровья персонала химически опасных объектов за два года.

Были получены сравнительные результаты сходимости выявленных групп риска с числом заболевших в этих группах за год, подтвердившие с приемлемым уровнем точности (ошибок 1-го рода (гипердиагностики, ложных тревог) — 7,6 %, ошибок 2-го рода (гиподиагностики, пропусков цели) — 3,1 %) отсутствие различий средних значений в прогнозируемых и фактических данных.

Полученные результаты подтверждают корректность разработанного метода: ни у одного обследуемого, отнесенного к группам с отсутствующим и пренебрежимо малым риском, за год не возникло заболевания, связанного с воздействием неблагоприятных факторов условий профессиональной деятельности.

В соответствии с изложенным, можно сделать заключение, что логичность и системность построения разработанного метода оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов, детализированность всех этапов анализа, математическая обоснованность расчетов, возможность получения результатов и рекомендаций, пригодных для принятия управленческих решений, определяют его как надежный инструмент, позволяющий обосновать целесообразность, приоритетность и эффективность оздоровительных и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на снижение воздействия неблагоприятных факторов условий профессиональной деятельности на здоровье человека.

#### Список литературы

1. WHO. Global strategy on occupational health for all. The way to health at work. — Geneva, 1995. — 68 p.
2. Богомолов А. В., Гридин Л. А., Кукушкин Ю. А., Ушаков И. Б. Диагностика состояния человека: математические подходы. — М.: Медицина, 2003. — 464 с.
3. Шолюмицкий А. Г. Теория риска. Выбор при неопределенности и моделирование риска. — М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2005. — 400 с.
4. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. — Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. — 352 с.
5. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей. — Рига, 1990. — 184 с.
6. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. — М.: Наука, 1981. — 208 с.
7. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, — 1981. — 488 с.
8. Профессиональный риск для здоровья работников. (Руководство) / Под ред. Н. Ф. Измерова и Э. И. Денисова. — М.: Тровант, 2003. — 448 с.
9. Саати Т. Аналитические сети: метод анализа иерархий. — М.: изд. УРСС, 2008.
10. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: Р 2.2.2006—05. — М.: ФЦГСЭН Минздрава России, 2005. — 192 с.
11. Андрейчикова О. И. Разработка и исследование интеллектуальной системы принятия решений на нечетких множествах // Информационные технологии. — 1999. — № 8. — С. 9—14.

УДК 628.517.2:622.691.4.052.012

**В. К. Мамаев, Е. Н. Власов**, проф.,  
 Российский университет дружбы народов  
 E-mail: v.k.mamaev@mail.ru

## Сравнительный анализ акустических характеристик отечественных и зарубежных центробежных компрессорных машин

*Выполнен общий сравнительный анализ акустических характеристик отечественных и зарубежных центробежных компрессорных машин. Приведены уровни звукового давления, предельные спектры и санитарные нормы.*

**Ключевые слова:** центробежный компрессор, акустическая мощность, звукоизоляция, экологическая безопасность, санитарная норма, уровень звукового давления.

**Mamaev V. K., Vlasov E. N.** *The comparative analysis of acoustic characteristics domestic and foreign centrifugal compressor machines*

*The general comparative analysis of acoustic characteristics of domestic and foreign centrifugal compressor machines is executed. Levels of sound pressure, limiting spectra and sanitary norms are given.*

**Keywords:** centrifugal compressor, acoustic power, sound isolation, ecologic security, sanitary norm, level of sound pressure.

Основным поставщиком центробежных компрессорных машин (ЦКМ) для компрессорных станций России является "Невский завод" (НЗ). ЦКМ для нового поколения газоперекачивающих агрегатов также будут выполнены по аэродинамической схеме НЗ с политропическим КПД 84...86 %.

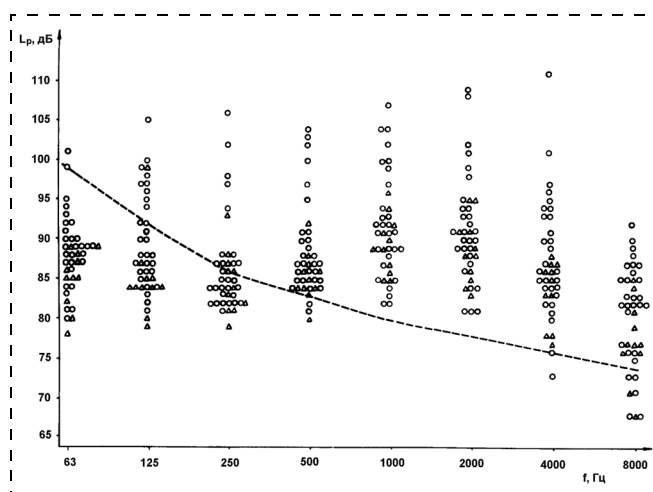
Сравнение акустических характеристик ЦКМ Невского завода и машин зарубежных фирм проведено на основе данных, полученных акустической группой НЗ и данных литературных источников. Следует, однако, отметить, что этот сопоставительный анализ носит приближенный и неполный характер.

Сравнивались акустические характеристики зарубежных машин, работающих в России, с машинами НЗ. Испытания проводились работниками акустической группы НЗ, применялась одна и та же измерительная аппаратура, методика измерений и обработки экспериментальных данных. Однако сравниваемые машины отличались по конструкции,

характеру привода (электродвигатели, паровые турбины, газовые турбины) и условиям размещения в машинном зале (в одном зале размещаются от одного до семи агрегатов).

В то же время акустические характеристики центробежных компрессоров зарубежных фирм взяты из литературных источников (каталоги фирм, техническая документация, находящаяся в распоряжении ЦИНТИХимнефтемаш). Машины отличаются по конструкции, техническим характеристикам, условиям эксплуатации. Следует сказать, что большинство зарубежных фирм не указывают конкретной информации по шуму, ограничиваясь общими замечаниями типа: оборудование удовлетворяет современным требованиям по шуму, или относят акустические характеристики к специальным требованиям. Некоторые фирмы, например, "Фрама-тон" (Франция), дают полную информацию по шуму выпускаемых машин.

Результаты анализа акустических измерений 40 лопаточных машин (центробежные нагнетатели, центробежные компрессоры) показаны на рис. 1. Измерения выполнены в промышленных условиях (данные "Невского завода") [1].



**Рис. 1.** Уровни звукового давления различных типов ЦКМ НЗ: ○ — компрессоры; △ — нагнетатели; --- — санитарные нормы (ПС-80)





Как видно из рис. 1, начиная с области 150...300 Гц, шум большинства лопаточных машин НЗ превышает существующие санитарные нормы на 5...20 дБ в широком диапазоне в зависимости от частоты. Превышение общего уровня шума составляет 6...22 дБ в зависимости от марки машин.

#### *Краткая характеристика ЦКМ "Невского завода"*

Компрессоры для сжатия атмосферного воздуха (в качестве привода служит паровая турбина или электродвигатель) представляют собой центробежные машины (одноцилиндровые или двухцилиндровые) с промежуточным охлаждением воздуха.

Нагнетатели природного газа — одно- и двухступенчатые центробежные машины для сжатия и транспорта природного газа (привод — газовая турбина).

Нагнетатели агломерационных машин — центробежные одноступенчатые машины двухстороннего всасывания, предназначенные для просасывания воздуха через слой спекаемой рудной шихты, нагнетатели марки 6500-11-4 и 7500-11-3 используются также для отсоса продуктов сгорания из мартеновских печей, привод — электродвигатель.

#### *Краткая характеристика ЦКМ зарубежных фирм*

Центробежная компрессорная машина АК 12/17 65 фирмы ГХХ (Германия) предназначена для сжатия воздуха и подачи его в доменную печь; включает в себя осецентробежный компрессор, приводимый во вращение электродвигателем. Электродвигатель и компрессор закрыты звукоизолирующими кожухами, покрытыми с внутренней стороны звукоизоляционным материалом толщиной 10...12 см. В помещении машинного зала установлены два агрегата. Акустические испытания проводились при работе одного агрегата и одновременной работе двух агрегатов.

Компрессор технического воздуха 6МС7 (Франция); привод — паровая турбина.

Центробежный компрессор природного газа 3МС6 (Франция); привод — паровая турбина.

Центробежный компрессор аммиака 6МС6 (Франция); привод — паровая турбина.

Центробежный компрессор синтез-газа 5ЕН-6ВД фирмы "Мицубиси" (Япония); привод — паровая турбина.

Четыре последних из перечисленных выше агрегатов установлены в одном машинном зале. Паровые турбины имеют тепловую изоляцию и защитные кожухи. Компрессоры звукоизоляции не имеют. Во время акустических испытаний все четыре агрегата работали одновременно.

Агрегат фирмы "Зульцер" (Швейцария) — компрессор с электроприводом, состоящий из осевого компрессора АУ-90(100)-14 и центробежного компрессора Р-123-5, установленных в одном корпусе — предназначен для подачи воздуха в доменную печь. В помещении машинного зала установлены три агрегата. Все звукоизлучающие части агрегатов звукоизолированы кожухами с внутренней изоляцией. Кроме того, на входе и выходе из компрессора поставлены глушители. Во время испытаний работали два агрегата.

Агрегат ГТК-10 И предназначен для сжатия и транспорта природного газа, привод — газовая турбина М3142 фирмы "Аегканис" (Германия), нагнетатели — фирм "Кларк" и "Купер Бессемер" (США).

В машинном зале установлены семь агрегатов, газовая турбина и нагнетатель; они находятся в одном помещении, выполненном из металлоконструкций. Газовые турбины имеют теплоизолирующие корпуса, нагнетатели звукоизоляции не имеют.

Центробежные машины фирмы "Купер Индастриз" [2, 3] предназначены для сжатия воздуха. Фирма выпускает компрессоры для работы в широком диапазоне расходов воздуха и давлений трех серий: серия С8 (расход от 2300...9500 м<sup>3</sup>/ч, давление до 0,8 МПа); серия ТА (расход 3600...25 000 м<sup>3</sup>/ч, давление на выходе до 1,7 МПа); серия MSG (расход 5500...150 000 м<sup>3</sup>/ч, давление на выходе до 4,5 МПа). Привод — электродвигатель, паровая или газовая турбина. Мощность привода 250...15 000 кВт. Установки имеют фильтр-глушитель на входе в компрессор и глушитель после предохранительного (сбросного) клапана.

Для регулирования расхода воздуха центробежные компрессорные машины имеют регулируемые входные направляющие аппараты (ВНА). ЦКМ также имеют двухрядный лопаточный диффузор. Передача от привода к валу компрессора осуществляется через зубчатую пару.

При определении технических требований по шуму к ЦКМ фирма "Купер Индастриз" руководствуется ограничениями, представленными ниже.

#### *Ограничения, накладываемые на пребывание обслуживающего персонала в зоне шума*

Уровень звукового давления, дБА	90	92	95	97	100	102	105	110	115
Пребывание в зоне шума, ч	8	6	4	3	2	1,5	1,0	0,5	0,25

Машины этой фирмы удовлетворяют приведенным требованиям. У ЦКМ серии С8 уровень звукового давления на расстоянии 1 м от установки составляет 82...85 дБА; машины серии ТА — от 85...90 дБА. По желанию заказчика машины могут быть дооборудованы шумопоглощающими устройствами. В этом случае фирма гарантирует пре-



дельный уровень звукового давления до 85 дБА для всех ЦКМ с мощностью привода до 3000 кВт.

Центробежный компрессор RD-8-75 для перекачки природного газа фирмы "Фраматон" (Франция) имеет в качестве привода паровую турбину. Частота вращения ротора компрессора 7880 мин<sup>-1</sup>. Мощность привода 3778 кВт. Степень повышения давления  $\pi_k = 4,3$ , расход воздуха — 39 000 кг/ч.

Измеренный уровень звукового давления на расстоянии 1 м для машин разных типов фирмы "Фраматон" составил:

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБА	92...100	90...97	90...94	88...92	86...90	84...88	82...86	80...85

В каталоге фирмы "Фраматон" [4] указывается также, что верхние уровни звукового давления ЦКМ соответствуют для средних и высоких частот уровням предельных спектров по рекомендации ИСО.

Центробежные компрессоры фирмы "Мицубиси" [5, 6] моноблочного типа предназначены для сжатия воздуха. Выпускается 11 моделей с расходом воздуха от 3500 до 23 000 м<sup>3</sup>/ч с электроприводом через зубчатую передачу мощностью от 380 до 2150 кВт. Все компрессоры звукоизолированы. Максимальный уровень звукового давления 90 дБА. По желанию заказчика фирма применяет дополнительную звукоизоляцию и гарантирует при этом уровень звукового давления до 85 дБА.

Центробежные компрессоры фирмы "Инджерсол-Рэнд" (США) [7] предназначены для сжатия атмосферного воздуха. Электропривод — через зубчатую передачу мощностью от 450 до 1000 кВт. Выпускается пять базовых моделей с расходом воздуха от 100 до 155 м<sup>3</sup>/мин, давление на выходе от 0,45 до 1,1 МПа.

Центробежные компрессоры фирмы "Зульцер" (Швейцария) [8] предназначены для сжатия атмосферного воздуха с расходом от 35 000 до 500 000 м<sup>3</sup>/ч. Давление на выходе — от 0,5 до 1,3 МПа. Электропривод — через зубчатую передачу. Агрегаты применяются в химической и нефтехимической промышленности, металлургии, для подачи воздуха в шахты. Применение специального корпуса с встроенным в него охладителем обеспечивает снижение шума до приемлемого уровня (по заявлению фирмы). Уровень шума таких компрессоров ниже, чем у ЦКМ, имеющих отдельные выносные охладители (холодильники). Для снижения шума применяются также конструкции корпусов с двойными стенками. В случае повышенных требований к шуму ЦКМ применяются звукоизолирующие кожухи, закрывающие компрессор и зубчатую передачу (мультипликатор).

Таблица 1

Шумовые характеристики некоторых центробежных компрессоров фирмы ЧКД

Модель	Расход, м <sup>3</sup> /мин	Уровень звуковой мощности, дБ	Уровень звукового давления, дБА
6 56	1 400	124	107
7 56	16 500	124	107
7 78	33 000	127	109

Шумовые характеристики центробежных компрессоров фирмы ЧКД (Чехия) [9] приведены в табл. 1.

Уровень шума, как видно из табл. 1, высок, и машины фирмы ЧКД по этому показателю не удовлетворяют современным требованиям. Главная задача этих машин — снижение вредного воздействия шума на обслуживающий персонал. Она может быть достигнута двумя путями.

*Первый путь* — это использование специальных шумозаглушенных диспетчерских кабин. При этом пребывание обслуживающего персонала в машинном зале в течение восьмичасового рабочего дня ограничивается. Допустимое время пребывания в машинном зале при условии, что уровень звукового давления превышает современные нормы ПС-80, приведены ниже.

*Допустимое время пребывания обслуживающего персонала в машинном зале*

Уровень звукового давления в машинном зале, дБА	90	95	100	105	110
Допустимое время пребывания, мин-с	150-15	47-34	15-02	4-35	1-30

Из этих данных и табл. 1 видно, что допустимое время пребывания обслуживающего персонала вне специальных кабин, т. е. непосредственно в машинном зале, ограничивается  $\approx 4$  мин в течение восьмичасового рабочего дня, что делает невозможным проведение профилактических и ремонтных работ.

*Второй путь* снижения шума работающей машины — уменьшение шума в самом источнике и применение звукоизоляции.

Главные усилия фирма ЧКД направляла на создание эффективных шумозаглушающих кожухов. Для поиска наиболее эффективной конструкции кожухов фирмой были проведены испытания кожуха на стальной и пластмассовой основе. Эффективно показали себя пластмассовые кожухи. В качестве основного материала выбрано стекловолокно, отличающееся высокими механическими свойствами и технологичностью. Сравнительные характеристики машин с кожухами и без них даны в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики машин фирмы ЧКД

Показатель	Машина без кожуха	Машина с металлическим кожухом	Машина с пластмассовым кожухом
Уровень звукового давления на расстоянии 1 м, дБА	106	78	75
Удельная масса стенки кожуха, кг/м <sup>2</sup>	—	34	20

Как видно из таблицы, применение кожухов обеспечивает эффективное шумоглушение, а применение пластмассовых кожухов, кроме того, дает снижение удельной массы стенки кожуха по сравнению с металлическими кожухами в 1,7 раза.

*Сравнение компрессорных машин Невского завода и зарубежных машин по шумовым характеристикам*

Попытки произвести сравнение характеристик различных компрессорных машин по параметру  $lg GH$  (критерий шумности) не привели к успеху в связи с отсутствием сопоставимых данных.

Из данных об уровне звуковой мощности  $L_p$  зарубежных машин, представленных на рис. 2, видно, что агрегаты, имеющие изоляцию компрессоров (кривые 1, 7), отличаются высоким уровнем звуковой мощности на низких частотах и относительно невысоким уровнем на высоких частотах. Все машины имеют два ярко выраженных максимума по звуковой мощности в области частот 120...2000 Гц.

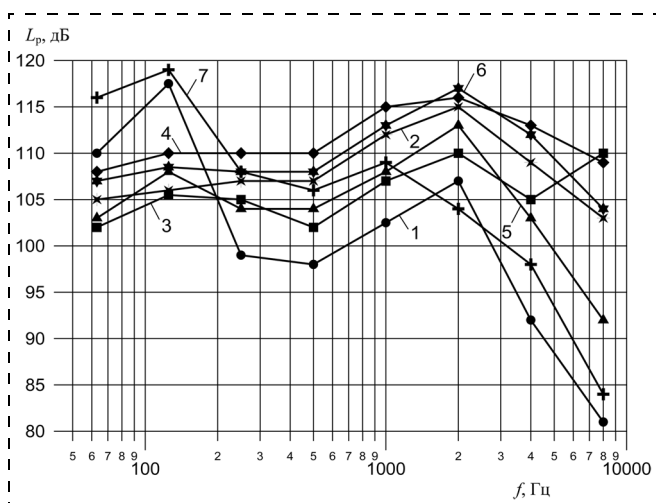


Рис. 2. Октавные уровни звуковой мощности ЦКМ зарубежных фирм:

1 — фирмы ГХХ (Германия); 2, 3, 5 — 6МС7, 3МС6, 6МС6 (Франция); 4 — 5ЕН-6ВД (Япония); 6 — ГТК-10И (США—Германия); 7 — фирмы "Зульцер" (Швейцария)

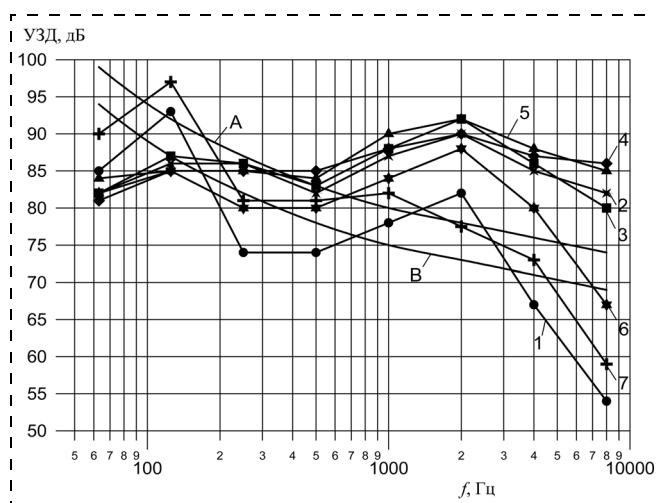


Рис. 3. Октавные уровни звукового давления ЦКМ зарубежных фирм:

А — ПС-80; В — ПС-75; 1—7 — см. рис. 2

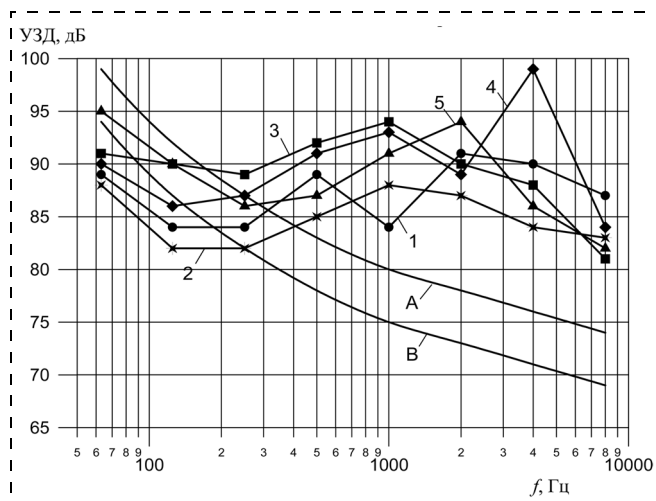


Рис. 4. Октавные уровни звукового давления компрессоров Невского завода:

1 — К3000-61-1; 2 — К5500-41-1; 3 — К7000-41-1; 4 — К1500-62-1; 5 — К1500-62-1; А — ПС-80; В — ПС-75

Из анализа данных об уровнях звукового давления (УЗД) зарубежных машин, показанных на рис. 3, следует, что УЗД машин фирмы ГХХ (кривая 1) и машины фирмы "Зульцер" (кривая 7), имеющих звукоизоляцию, близки (превышение 1...4 дБ) требованиям санитарных норм ПС-80 (ГОСТ 12.1.003—83) — кривая А. С июля 1989 г. в России введены более жесткие допустимые нормы шума для производственных помещений — санитарные нормы ПС-75 (внесены изменения в ГОСТ 12.1.003—83) — кривая В. Все остальные марки зарубежных машин при частоте 500 Гц имеют превышение УЗД на ~12 дБ по сравнению с российскими нормами ПС-80.

Компрессоры Невского завода (рис. 4) имеют приемлемые уровни звукового давления на низких

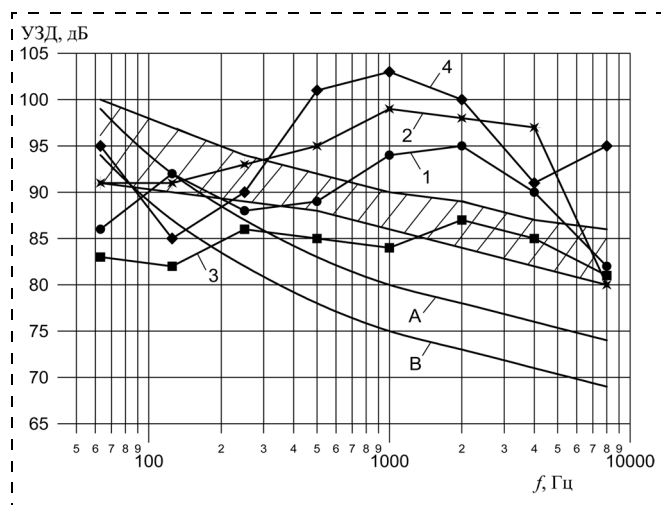



Рис. 5. Октавные уровни звукового давления отечественных и зарубежных нагнетателей:

1, 2, 3, 4 — нагнетатели Невского завода 235-21-1, 370-18-1, 95-81-1, 650-21-1, соответственно;  — фирмы "Фраматон"; А — ПС-80; В — ПС-75

(до 250 Гц) частотах, а в области высоких частот не удовлетворяют санитарным нормам ПС-80 (превышение 14...20 дБ) и в еще большей степени санитарным нормам ПС-75.

Уровни звукового давления нагнетателей природного газа Невского завода и аналогичных по назначению машин фирмы "Фраматон" (Франция) представлены на рис. 5. Из рисунка видно, что различие в уровнях шума различных нагнетателей этой фирмы на низких частотах составляет 6...8 дБ, на средних и высоких частотах — 4...5 дБ.

Изменение уровня шума различных нагнетателей Невского завода на низких частотах составляет 10...12 дБ и в области средних и высоких частот 13...19 дБ. Сравнивая машины "Невского завода" и аналогичные по назначению машины французской фирмы, можно указать на слишком большие колебания УЗД нагнетателей НЗ в области средних частот. Уровни звукового давления отечественных серийных нагнетателей газа в области средних частот превышают на 5...15 дБ уровни звукового давления французских аналогов в зависимости от марки нагнетателя и частоты.

Все сказанное выше при сравнении санитарных норм с фактическим уровнем центробежных машин относилось к случаям, когда рабочие места для обслуживающего персонала находились непосредственно в машинном зале. Часто управление работой агрегатов осуществляется из специально оборудованных помещений (кабин), снабженных звукоизоляцией, т. е. большую часть рабочего времени обслуживающий персонал (машинисты) находятся в зоне с пониженным шумом. Однако во время смены машинист должен делать обход рабо-

тающих агрегатов. Кроме того, при наличии нескольких агрегатов в машинном зале появляется необходимость пребывания людей в зоне с повышенным шумом при ремонте или обслуживании одного из агрегатов при работающих других. В этом случае подсчитывается эквивалентный уровень шума, который сравнивается с предельно допустимым по санитарным нормам.

Методика и примеры расчета эквивалентных уровней шума даны в работе [10]. Например, если работник компрессорной станции находится за смену в течение 30 мин в помещении, где уровень шума 90 дБА, 15 мин в зале нагнетателей, где уровень шума 99 дБА, а остальное время — в помещении главного щита управления с уровнем шума 75 дБА, то, согласно [10], эквивалентный уровень шума равен 85 дБА. Таким образом, персонал компрессорной станции находится в условиях, которые можно считать эквивалентными постоянной работе в помещении с уровнем шума 85 дБА. По нормам ПС-80 эквивалентный уровень шума не должен превышать 85 дБА, а по нормам ПС-75 — 80 дБА. Этот пример показывает, что применение звукоизолированных кабин для управления работой агрегатов не решает полностью проблемы защиты обслуживающего персонала от высоких уровней шума.

Однако опыт внедрения систем шумоглушения ЦКМ на компрессорных станциях Газпрома [10] на стадии изготовления опытных образцов дает основания утверждать, что разработанные системы шумоглушения обладают высокой эффективностью, обеспечивают безопасные по влиянию шума условия труда для обслуживающего персонала и создают экологически безопасную обстановку на прилегающих территориях, окружающих компрессорные станции.

#### Список литературы

1. Власов Е. Н., Дедиков Е. В., Терехов А. Л., Цулимов С. В. Исследования шума лопаточных машин на компрессорных станциях магистральных газопроводов и способы его снижения. — М.: ИРЦ Газпром, 1998.
2. Cooper Industries Turboair centrifugal compressors. USA, 5444, XM-5, 1989.
3. Cooper-Bessemer Centrifugal Compressors for natural gas compression. USA, 3636, XM-5, 1987.
4. Каталог фирмы "Фраматон" (Франция). 5222хМ-5, 1988.
5. Mitsubishi Packaged Centrifugal Compressors (Япония). XM-5, 1987.
6. Mitsubishi compressors and drivers (Япония). 5421, XM-5, 1988.
7. Ingersoll-Rand Air Compressors. Рекламные материалы США, 1990.
8. Sulzer Isoterm turbocompressors. Швейцария. 3711 XM-5, 1987.
9. Шумопоглощающие материалы для крупных компрессоров. ЦНИИТИХимнефтемаш, сер. XM-5 // Компрессорное машиностроение. — 1965. — № 2.
10. Терехов А. Л. Шум газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов. — М.: ИРЦ Газпром, 2003.

УДК 528.873.041 + 613

А. Ш. Мехтиеv<sup>1</sup>, акад. НАН Азербайджана, д-р физ.-мат. наук,  
 Б. М. Азизов<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф., Д. С. Мехтиеv<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц.,  
<sup>1</sup> Национальная академия авиации, Азербайджан, г. Баку,  
<sup>2</sup> Азербайджанский технический университет, г. Баку

## Об оценке теплопроводности почв, загрязненных нефтепродуктами в тепловом ИК-диапазоне

*Рассмотрены теоретические и методические вопросы, касающиеся влияния ряда факторов на формирование радиационной температуры поверхности загрязненных нефтепродуктами почв, определяющимися, в основном, их теплофизическими характеристиками.*

*На примере изучения теплофизических характеристик почв, загрязненных нефтью, показано, что для их количественной оценки требуется более точное определение излучательной способности исследуемых поверхностей в тепловом ИК-диапазоне.*

**Ключевые слова:** почвы Апшеронского полуострова, загрязнение нефтепродуктами, теплоемкость, теплопроводность, радиационная температура поверхности, излучательная способность.

**Mekhtiyev A. Sh., Azizov B. M., Mekhtiyev J. S. Estimation of thermal conduction of oil polluted soils in thermal UR range**

*Theoretical and methodical questions relating to the effect of some factor son radiation temperature of oil polluted soils which is mainly determined by their thermo physical characteristics are studied.*

*On an example of the study of thermo physical characteristics of oil polluted soils it is shown that more exact determination of irradiative capability of soils in UR range is required for quantitative estimation.*

**Keywords:** apsheron soils, oil polluted, heat capacity, thermal conduction, thermal radiation of ground surfaces, irradiative capability.

Температурный режим почвы играет важную роль в процессах энерго- и массообмена в системе почва — растительность — атмосфера. Температура оказывает влияние на интенсивность физических, химических и биологических процессов, протекающих в почвогрунтах. При загрязнении почвы нефтепродуктами в значительной степени изменяются ее теплофизические характеристики. Вследствие этого меняются и другие характеристики почвенного покрова.

Тепловой режим загрязненной нефтью либо нефтепродуктами почвы в основном характеризуется

как температурой поверхности  $T(0)$  и температурным профилем на глубине  $T(h)$ , так и теплофизическими характеристиками: тепло- и температуропроводностью  $\lambda$  и  $K_n$ , объемной теплоемкостью  $C$ , теплоаккумуляцией  $Q_{ак}$ .

### Объект исследования

Объектом исследований являются загрязненные нефтью почвы Апшеронского полуострова, которые представлены в основном сероземно-бурыми, солонцеватыми (в центральной, южной и северо-западной частях) почвами. Содержание гумуса в этих почвах не более 1,5...2 %. Атмосферные осадки на полуострове составляют 250...350 мм/год.

Апшеронский полуостров является одним из старых районов нефтедобычи в мире. В течение более чем 100 лет здесь добыто, подготовлено к транспортировке, а также транспортировано для переработки свыше 1,2 млрд т нефти, в результате чего почвы Апшеронского полуострова оказались сильно загрязненными нефтью. В настоящее время общая площадь загрязненных нефтью почв составляет более 12 000 га, т. е. почти 10 % от общей площади полуострова.

Таблица 1

Теплопроводность почв Апшеронского полуострова, Дж/(см<sup>2</sup> · К)

Состояние почвы	Почвы плотностью $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		
	1,1	1,2	1,45
	легкие	средней плотности	тяжелые
Чистая почва:			
сухая	0,91	1,415	1,48
влажная	1,31	1,62	1,75
очень влажная	1,64	1,85	2,3
Загрязненная нефтью			
сухая	1,05	1,84	2,32
Слабо загрязненная нефтью, влажная	1,48	2,18	2,46
Средне загрязненная нефтью, влажная	1,72	3,81	4,41
Сильно загрязненная нефтью, влажная	2,15	4,15	4,5



В табл. 1 даны некоторые, влияющие на теплофизические характеристики, параметры почв Апшеронского полуострова.

### Методология и ход исследования

Рассматривая загрязненную нефтью почву как неограниченную среду, в которой изменение температуры в горизонтальном направлении равно нулю, допускаем, что на каждом рассматриваемом участке загрязненной почвы температура меняется только в одном направлении, т. е. по глубине  $h$ :

$$K_n \frac{\partial^2 T(h, t)}{\partial h^2} = \frac{\lambda \partial^2 T(h, t)}{C \partial h^2}, \quad (1)$$

где  $h$  — глубина почвы, определяемая температурным профилем;  $t$  — время.

Это делает возможным использование формулы (1) для определения теплового потока в почву. Значение коэффициента теплопроводности в уравнении (1) зависит от таких факторов, как степень загрязнения почвы нефтепродуктами, влажность, плотность, механический и химико-минералогический состав, характер нефтяного органического вещества и т. д.

Нами была выявлена зависимость удельной теплоемкости почвы от степени ее загрязнения и от влажностных характеристик ее образцов как в лабораторных, так и в натуральных условиях с помощью радиационных термометров и шаровых температурных зондов (рис. 1).

Известно, что тепловые свойства почв, загрязненных нефтью, определяются как составами самих почв, так и составом нефтепродуктов-загрязнителей.

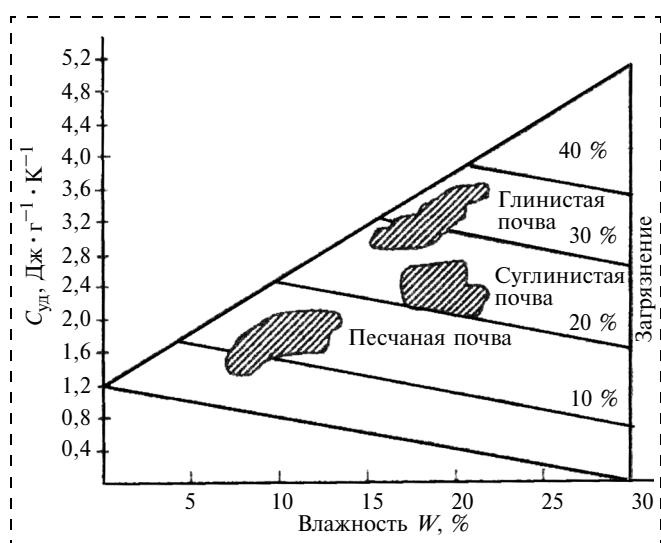


Рис. 1. Зависимость удельной теплоемкости почвы  $C_{уд}$  от степени влажности  $W$  при различной степени загрязнения

Таблица 2

Тепловые свойства важнейших составляющих почв, загрязненных нефтью

Вещество	Теплоемкость $C$ , Дж · г <sup>-1</sup> · К <sup>-1</sup>	Теплопроводность $\lambda$ , Дж · см <sup>-2</sup> · К <sup>-1</sup>	Температуропроводность $K_p$ , 10 <sup>-3</sup> · см <sup>2</sup> · с <sup>-1</sup>
Кварц	1,92	83	43
Минералы почвы (усредненное значение)	1,92	29	15
Органическое вещество	1,92	2,5	1,0
Вода	4,18	5,93	1,42
Воздух	0,0012	0,259	0,21
Нефтепродукты	1,68...2,0	2,65	0,35

В табл. 2 представлены тепловые свойства важнейших составляющих частей почвы при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении [1—4].

Другим важным фактором, влияющим на теплофизические характеристики загрязненных нефтью почв на различных глубинах является их теплопроводность  $\lambda$ .

Известно, что теплопроводность почв определяется составом преобладающих минералов, размером и формой их зерен, объемным содержанием отдельных компонентов, степенью их сцементированности, плотностью грунта, а также ее влажностью. Перечисленные факторы хорошо изучены и установлены закономерности их влияния на теплофизические характеристики различных почв [2, 3, 5—8].

Температура поверхности загрязненных нефтью почв в проводившихся исследованиях измерялась радиационным термометром по известной методике [4, 8].

Для определения температурного профиля  $T(h)$  почвы, основываясь на известных закономерностях физики почв [1—3], было решено вышеприведенное исходное дифференциальное уравнение теплопроводности (1) для полубесконечного массива.

При заданном на поверхности временном ходе температур, измеряемом радиационным термометром, выражаемом периодическим рядом с количеством  $n = 1..8$  гармоник и периодом в одни сутки

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_c} \quad (\omega_c \text{ — круговая частота обращения Земли}$$

вокруг Солнца, рад/с), получим:

$$T(0, t) = T(0) + \sum_{n=1}^{\infty} [T_n(0)h \cos \omega_c t + \bar{T}_n(0) \sin \omega_c t]. \quad (2)$$

В случае второго граничного условия на уровне  $n \rightarrow \infty$  практически в суточных процессах физиче-

ская бесконечность для Апшеронского полуострова составляет  $h_t = 50...60$  см.

$$T(\infty, t) = T(h, t) = \text{const.} \quad (3)$$

Решение их в виде суточных рядов с тем же периодом будет выглядеть следующим образом:

$$T(h, t) = T_0(h) + \sum_{n=1}^{\infty} [T_n(h)n\cos\omega_c t + \bar{T}_n(0)\sin\omega_c t]. \quad (4)$$

В этой формуле гармоники  $T_0(h)$  и  $T_n(h)$  подлежат определению.

Известно, что  $T_0(0)$  и  $T_0(h)$  означают среднюю суточную температуру загрязненных почв на поверхности и на глубине  $h$ .

Видно, что для нахождения искомого распределения температур во времени и по глубине следует с высоты при помощи радиационного термометра зафиксировать суточный ход температуры на поверхности  $T_0(0)$  и  $T_0(h)$  и расчетным путем найти гармоники  $T_n(h)$  и  $T_0(h)$ .

Основными параметрами, наиболее влияющими на тепловые характеристики почвы, являются  $\lambda$ ,  $C$  и  $K_n$ . Если распределение температур легко получить с помощью радиационного термометра, то параметр  $K_n$  можно найти лишь неконтактным способом — по установленным экспериментальным зависимостям между влажностью  $W$  ( $\text{г}/\text{см}^3$ ), загрязнением  $\gamma$  ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) и  $K_n$ . Эти характеристики зависят главным образом от влажности и степени загрязнения почвы и в гораздо меньшей степени от ее плотности.

Имеющиеся данные о влажности и степени загрязнения почвы нефтепродуктами позволили вывести приближенную обобщенную формулу для определения коэффициента теплопроводности,  $Вт/(м \cdot К)$ :

$$\lambda = 3,83\rho[C_{уд} + 0,03(W + \gamma)] \times 0,1\{m_1[(W + \gamma) - m_1] + m_2\rho + m_3\}, \quad (5)$$

где  $\rho$  — плотность почвы,  $\text{г}/\text{см}^3$ , для сероземных почв среднее значение составляет  $1,3 \text{ г}/\text{см}^3$ ;  $C_{уд}$  — удельная теплоемкость, составляющая  $1,45 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$ .

Температуропроводность,  $\text{м}^2/\text{с}$ , определим из

$$K_n = \{m_1[(W + \gamma) - m_4] + m_2\rho + m_3\}10^{-6}. \quad (6)$$

Коэффициенты  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  и  $m_4$  зависят от типа почвы. Для исследуемых почв Апшеронского полуострова они, соответственно, составляют для песчаной —  $m_1 = 0,0062$ ; глинистой —  $m_2 = 2,7$ ; суглинистой —  $m_3 = 0,2$ ; суглинисто-солонцеватой —  $m_4 = 18,0$ .

Таким образом, для решения задачи о нахождении температуры глубинного профиля почв, загрязненных нефтью, необходимы сведения об их

теплофизических характеристиках. А это означает, что если вести измерения дистанционным методом, то нужно знать три параметра, два из которых можно определить дистанционно. Эти параметры: радиационная температура поверхности и влажность по глубине почвы. Третий же параметр — степень загрязнения нефтепродуктами, а также глубина проникновения определяются на основе непосредственных анализов, образцов почвы в лабораторных условиях.

Радиационная температура поверхности измерялась термометром РП-5, влагосодержание — СВЧ влагомером, а количество нефтепродуктов в образцах почвы по известной методике [9].

Немаловажным является определение ошибок в измерениях температуры поверхности, обусловленные искажающим влиянием атмосферы. Нетрудно показать, что ошибка  $\Delta T(0)$ , обусловленная влиянием атмосферы, определяется следующим простым соотношением [5, 8, 10]:

$$\Delta T(0) = \frac{T(0, t)}{n[T(0, t, \lambda)]} \ln \Psi, \quad (7)$$

где  $n[T(0, t, \lambda)]$  — показатель степени, определяющий зависимость излучения черного тела в данном спектральном интервале от температуры;  $\Psi = \frac{J_{yx}}{J_0}$ ;

$J_{yx}$  — интенсивности уходящей радиации;  $J_0$  — интенсивность излучения черного тела при температуре поверхности почвы.

Величина  $J_{yx}$  определяется по известной формуле [8].

$$J_{yx} = J_0 P(\omega) + \int_{P(\omega)} JT[P(\tilde{\omega})]dP(\omega), \quad (8)$$

где  $P(\tilde{\omega})$  — функция пропускания радиации;  $\omega$  — эффективное содержание поглощающей субстанции в столбе атмосферы от данного уровня до верхней границы атмосферы.

### Результаты исследования и их обсуждение

В исследованиях по определению теплопроводности почв, загрязненных нефтью, значения вышеописанных факторов, за исключением влажности, предполагались как постоянные. Значения указанных параметров для исследуемых почв Апшеронского полуострова на самом деле меняются незначительно. Для того чтобы учесть влияние влажности на теплопроводность образцов загрязненных нефтью почв, пробы, взятые с поверхности и из различных глубин (10, 20, 40 см), имеющие различную влажность, исследовались в лабораторных условиях. Для этого взятые пробы высушивались

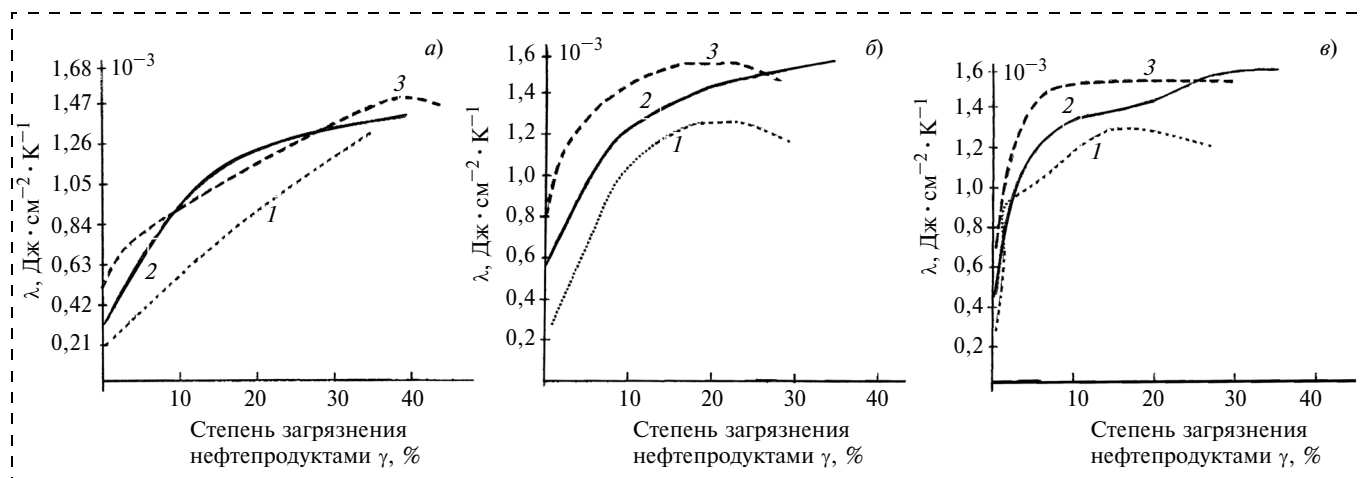


Рис. 2. Зависимости теплопроводности  $\lambda$  загрязненных нефтью почв от степени загрязнения нефтепродуктами, влажности и типа почвы: а — воздушно-сухая, б — гигроскопическая влажность до 10 %; в — гигроскопическая влажность до 15 %; 1 — песчаная почва; 2 — суглинистая почва; 3 — глинистая почва

досуха при температуре 105 °С, после чего вновь измерялась теплопроводность образцов исследуемых почв. Результаты этих измерений представлены на рис. 2.

По результатам аналитических расчетов и экспериментальных измерений в лабораторных условиях, а также путем использования известных математических операций — регрессионного анализа, установлена корреляционная связь между исследуемыми параметрами образцов почв, составившая значения  $\geq 0,8$ .

Точность данного метода зависит от точности вычислений параметров  $\lambda$ ,  $T_n$ ,  $C_{уд}$ , которые непосредственно влияют на  $T(0, t)$  и  $T(h, t)$ . Ошибки в указанных параметрах не должны превышать 0,5 % от их значений.

Другим, еще более существенным фактором, влияющим на результаты радиационных измерений температуры поверхности  $T(0, t)$ , является излучательная способность загрязненных нефтью поверхностей почв. Ошибка в коэффициенте излучения только на 0,01 % приводит, соответственно, и к ошибке в измерении  $T(0, t)$  порядка 0,9...1,0 К.

Однако гораздо большие изменения в значениях коэффициентов излучения происходят при переходе от данного участка к другому участку почвы, у которых степени загрязненности нефтью различаются. Таким образом, в случаях неоднородного (смешанного) участка возникают ошибки порядка 8...10 К. Кроме того, многие вещества неизотропны по отношению к испускаемому тепловому ИК-излучению.

Измерение относительных значений  $T(0, h)$  учитывает другие факторы (время дня и угол обзора поверхности относительно Солнца, азимут Солнца и изменение высоты измерений). Все эти факторы

могут приводить к изменениям в значениях температур поверхности почвы.

Таким образом, измерение теплофизических характеристик загрязненных нефтью почв с достаточной точностью осуществимы при использовании наряду с результатами наземных измерений также данных, полученных с помощью ИК-радиометрических устройств.

#### Список литературы

1. Чудновский А. Ф. Теплофизика почвы. — М.: Наука, 1976. — 352 с.
2. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных сред. — М., 1962. — 456 с.
3. Решетин О. Л. Метод расчета температурного поля в многослойных средах // Инженерно-физ. жур. — 1982. — Т. 18. — С. 483.
4. Азизов Б. М. Измерение температуры Земной поверхности дистанционными методами // Вести Бакинского Университета. Физ-мат. серия. — 2000. — № 1. — С. 98—101.
5. Мехтиев А. Ш. Имитационные эксперименты для подспутникового обеспечения сканерной съемки // Санкт-Петербургский журнал электроники. — 2002. — № 2. — С. 49—53.
6. Mehdiyev A. Sh. Sustainable development and remote methods of monitoring of on environment. VI-th Baku International Congress. Baku, May 30 June 3. — 2002. — P. 363—367.
7. Филатов Н. Н., Шилов И. О. Исследование особенностей изменчивости термодинамических полей на основе спутниковой информации // Исследование Земли из космоса. — 1996. — № 3. — С. 89—99.
8. Тимофеев Н. А. и др. Спутниковый мониторинг температуры по данным ИСЗ "NOAA" // Морской гидрофизический журнал. — 1990. — № 4. — С. 72—89.
9. Соромехин А. В. Наземные эталонные участки, как основа для разработки методики дистанционного зондирования нефтяного загрязнения почвы. Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг // Труды международной конференции. — Новосибирск, 2002. — С. 148—151.
10. Азизов Б. М. Некоторые аспекты интерпретации тепловых ИК-изображений // Доклады национальной академии наук Азербайджана. — 2000. — № 1—3. — С. 110—114.



УДК 62-192; 66-5

**А. А. Сандуляк**, канд. техн. наук, доц.,  
Московский государственный технический университет "МАМИ"  
E-mail: a.sandulyak@mail.ru

## **Феррозагрязнение технологического процесса — риск опасной эксплуатации оборудования — базовые зависимости**

*Рассмотрены полученные и апробированные зависимости, позволяющие оценивать снижение риска опасной эксплуатации оборудования (как финансовой и вероятностной характеристик) в зависимости от эффективности удаления ферропримесей из рабочей среды и альтернативно-относительной остаточной концентрации этих примесей. Привлечено внимание к категориям относительного снижения риска и остаточного риска в "чистом" виде (без учета затрат на реализацию рископонижающих мер) — для выявления сугубо вероятностных характеристик риска.*

**Ключевые слова:** риск, концентрация феррозагрязнений, магнитная сепарация.

**Sandulyak A. A. Technological process pollution by ferroimpurities — risk of dangerous operation of equipment — basic functions**

*There were obtained and tested functions allowed to estimate risk reduction of dangerous operation of equipment (financial and probabilistic characteristic) depending on efficiency of ferroimpurities removal and on residual concentration of such impurities. There were noted categories of relatively risk reduction and residual risk (ignoring expenses for risk reduction measures) in order to find probabilistic characteristic of risk.*

**Keywords:** risk, concentration of ferroimpurities, magnetic separation.

Одним из опасных факторов, постоянно иницирующих возникновение нештатных ситуаций (неблагоприятных событий) при эксплуатации промышленного оборудования (неисправностей, повреждений, отказов, поломок, вплоть до предаварийных состояний и аварий), является фактор наличия ферропримесей в рабочих средах [1]. В их числе — частицы (включения), образующиеся вследствие коррозии оборудования, его износа, а также в результате металлообработки, термообработки и сварки при ремонте и обслуживании оборудования. Присутствуя во всех технологических операциях и попадая при этом на рабочие, в том числе сопрягающиеся, поверхности оборудования (интенсифи-

цируя тем самым износ и ускоряя выход из строя элементов оборудования), они в серьезной мере дестабилизируют работу самого оборудования, снижая надежность и долговечность его эксплуатации.

Оценка риска, связанного с действием этого, к сожалению, "вечного" фактора, исключительно важна, и в вероятностном, и в финансовом выражении: ее результат не только объективно характеризует степень надежности эксплуатации технологического оборудования, но и позволяет составить смету состояния (и решения) проблемы безопасности.

Существует признанная методология оценки рисков проявления того или иного неблагоприятного события [2, 3], например, касающегося сугубо объекта (объектов) техносферы. Она сводится к наиболее желаемому и вполне оправданному прагматичному подходу, суть которого такова [2]. Риск  $R$  для единицы оборудования оценивается как произведение "среднеремонтного" ущерба  $U$  на частоту этих ремонтов  $\nu$  [2], например, за год, т. е.  $R = U\nu$ , а для определенного количества  $N$  единиц оборудования:  $R = U\nu N$ . Если в результате принятия определенных рископонижающих мер конструктивного, технологического, организационного или иного характера (например, применением очистного аппарата) удастся снизить либо параметр  $U$ , либо параметр  $\nu$  (как правило  $\nu$ ), то тем самым можно констатировать результативность этих мер. Но, разумеется, в таких случаях речь идет не об устранении риска, а о его снижении на определенную величину  $\Delta R$ . В связи с этим возникает потребность выразить величину  $\Delta R$  в виде функции, аргументом которой выступал бы параметр, характеризующий степень результативности той или иной рископонижающей меры.

Соответствующая попытка в этом направлении предпринята в работе [1]. Так, до ( $R_1$ ) и после ( $R_2$ ) принятия рископонижающих мер (например, после применения очистного аппарата) риск составляет:

$$R_1 = U_1\nu_1 = U_1 \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1}; R_2 U_2 \nu_2 = U_2 \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_2}, \quad (1)$$



где  $U_1$  и  $v_1$  — средний ущерб от неблагоприятного события (например, стоимость ремонтных работ) и частота таких событий (в частности, в течение года) до принятия рископонижающих мер;  $U_2$  и  $v_2$  — то же после принятия этих мер.

При этом

$$v_1 = \tau_{\text{год}}/\tau_1 \text{ и } v_2 = \tau_{\text{год}}/\tau_2,$$

где  $\tau_{\text{год}}$  — годовой ресурс времени (в случае непрерывной работы  $\tau_{\text{год}} = 24 \cdot 365 = 8760$  ч);  $\tau_1$  и  $\tau_2$  — средняя длительность межремонтной эксплуатации до и после принятия рископонижающих мер.

Следовательно, величина снижения риска представляется как [1]:

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_1 - R_2 = U_1 \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1} - U_2 \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_2} = \\ &= \left( \frac{U_1}{\tau_1} - \frac{U_2}{\tau_2} \right) \tau_{\text{год}} = \left( U_1 - \frac{U_2}{\tau_2/\tau_1} \right) \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Данное выражение указывает на искомый аргумент, активно влияющий на величину  $\Delta R$ . Это — отношение  $\tau_2/\tau_1$  т. е. относительное увеличение периода межремонтной эксплуатации оборудования. В свою очередь, отношение  $\tau_2/\tau_1$  сравнительно легко удается выразить через эффективность рископонижающей меры (в данном случае — эффективность удаления ферропримесей  $\psi$ ) [1]:

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{1}{(1-\psi)^n}, \quad (3)$$

причем показатель степени  $n$  может принимать значения  $n \leq 1$ . Очень часто  $n = 1$  [1], в этом случае за-

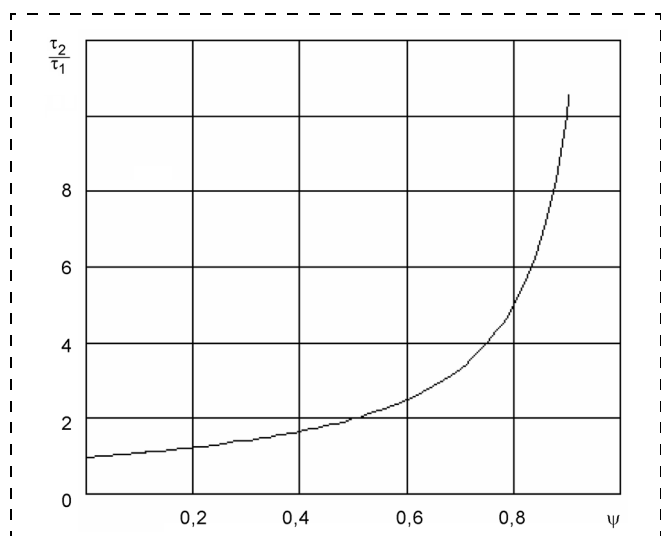


Рис. 1. Влияние эффективности удаления ферропримесей из рабочей среды на относительное удлинение периода межремонтной эксплуатации оборудования

висимость (3) принимает вид, показанный на рис. 1. Видно, что существенное увеличение межремонтного периода (в 2—5 раз и более) может быть достигнуто при обеспечении эффективности удаления ферропримесей  $\psi \geq 0,5...0,8$  (50...80 %) и более.

Следовательно, выражение (2) для величины снижения риска (напомним — в финансовом выражении) после подстановки в него связи (3) принимает вид:

$$\begin{aligned} \Delta R &= \left( U_1 - \frac{U_2}{\tau_2/\tau_1} \right) \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1} = \\ &= [U_1 - U_2(1-\psi)] \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1} = \left( U_1 - U_2 \frac{c_2}{c_1} \right) \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1}, \end{aligned} \quad (4)$$

причем с новым, более интересующим нас аргументом, характеризующим такую рископонижающую меру как эффективность работы  $\psi$  очистного аппарата. А с учетом того, что по определению  $\psi = (c_1 - c_2)/c_1 = 1 - c_2/c_1$ , где  $c_1$  и  $c_2$  — концентрация ферропримесей до и после принятия рископонижающих мер, еще одним "родственным" аргументом может выступать остаточная (после принятия рископонижающих мер) относительная концентрация ферропримесей в рабочей среде  $c_2/c_1$ .

Кроме понятия снижения риска  $\Delta R$  (как понятия абсолютной величины, естественно, в финансовом выражении), уместно также ввести понятие относительного снижения риска (параметра, претендующего на вероятностную характеристику), а именно:  $\Delta R/R_1$ . Соответствующие выражения для  $\Delta R/R_1$  легко находятся после деления выражений (4) на определение для  $R_1$  из уравнений (1):

$$\frac{\Delta R}{R_1} = \left( 1 - \frac{U_2}{U_1 \tau_2/\tau_1} \right) = 1 - \frac{U_2}{U_1} (1-\psi) = 1 - \frac{U_2}{U_1} \frac{c_2}{c_1}. \quad (5)$$

Дальнейшим логичным шагом является также введение такого понятия как остаточный риск, который по определению представляет собой величину  $1 - \Delta R/R_1 = R_2/R_1$ . С учетом выражений (5) остаточный риск представляется выражениями:

$$1 - \frac{\Delta R}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{U_2}{U_1 \tau_2/\tau_1} = \frac{U_2}{U_1} (1-\psi) = \frac{U_2}{U_1} \frac{c_2}{c_1}. \quad (6)$$

В случае, когда фактором риска выступают ферропримеси, присутствующие в рабочей среде, и рископонижающей мерой является использование очистного аппарата, то входящий в выражения (4)—(6) средний ущерб  $U_2$  от неблагоприятного события после принятия рископонижающей меры составит:

$$U_2 = U_1 + kU_{\text{м.с}},$$

где  $k$  — нормативный коэффициент, учитывающий временной ресурс работы очистного аппарата;  $U_{\text{м.с}}$  —

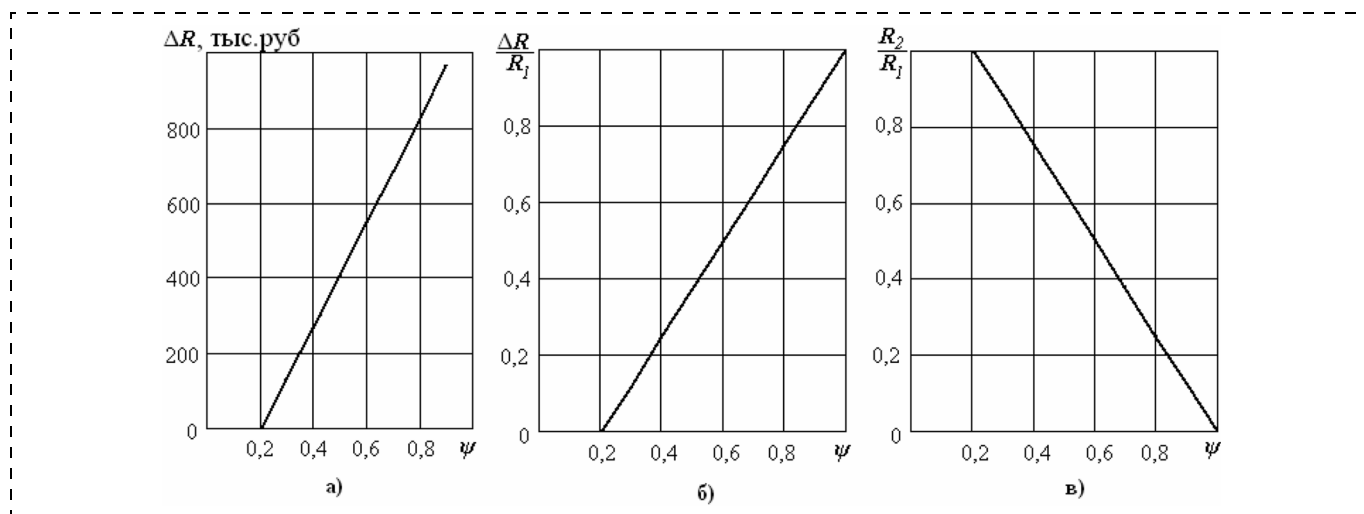


Рис. 2. Зависимости снижения риска (а) как финансового эквивалента (для парка из 20 термопластавтоматов), относительного снижения риска (б) и остаточного риска (в) от эффективности удаления ферропримесей из рабочей среды (сырья)

затраты, связанные с реализацией рискоснижающей меры (стоимость очистного аппарата и работ по его монтажу и обслуживанию). Тогда ключевые выражения (4) —(6) приобретут вид:

$$\begin{aligned} \Delta R &= U_1 \left[ 1 - \left( 1 + k \frac{U_{\text{м.с}}}{U_1} \right) (1 - \psi) \right] \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1} = \\ &= U_1 \left[ 1 - \left( 1 + k \frac{U_{\text{м.с}}}{U_1} \right) \frac{c_2}{c_1} \right] \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta R}{R_1} = 1 - \left( 1 + k \frac{U_{\text{м.с}}}{U_1} \right) (1 - \psi) = 1 - \left( 1 + k \frac{U_{\text{м.с}}}{U_1} \right) \frac{c_2}{c_1}; \quad (8)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \left( 1 + k \frac{U_{\text{м.с}}}{U_1} \right) (1 - \psi) = \left( 1 + k \frac{U_{\text{м.с}}}{U_1} \right) \frac{c_2}{c_1}. \quad (9)$$

При наличии конкретных эксплуатационных данных входящие в выражения (7)—(9) параметры  $\Delta R$ ,  $\Delta R/R_1$ ,  $R_2/R_1$  поддаются расчету и соответствующему анализу. В частности, по данным ЗАО "Солнечногорский завод "ЕВРОПЛАСТ", где используются магнитные сепараторы для удаления ферропримесей<sup>1</sup> из сырья, среднеэксплуатационные затраты  $U_1$  на ремонт матрицы с заменой гнезд составляют 4600 руб., стоимость сепаратора  $U_{\text{м.с}} = 12\,000$  руб. для одного из 20 термопластав-

<sup>1</sup> В сырье, используемом для производства ПЭТ-преформ и полимерных крышек, присутствуют феррочастицы и даже ферропредметы широкого спектра крупности: от мелких частиц окалины, коррозии и износа до крупных частиц-предметов в виде элементов крепежа, фрагментов ножей и пр. — как результата дробления отходов пластмассовых изделий. При попадании же ферровключений в гнезда матриц термопластавтоматов они destabilизируют работу оборудования и техпроцесс: забывают гнезда, что требует остановки процесса и ремонта матриц с заменой гнезд.

томатов, нормативный коэффициент  $k = 0,1$  (из расчета сохранения работоспособности сепаратора в течение 10 лет),  $\tau_{\text{год}}/\tau_1 = 12$  (в среднем один ремонт в месяц).

Соответствующие расчетные данные  $\Delta R$ ,  $\Delta R/R_1$  и  $R_2/R_1$  показаны на рис. 2. Видно, что с увеличением  $\psi$  величины  $\Delta R$  и  $\Delta R/R_1$  возрастают, а величина  $R_2/R_1$  соответственно снижается. В частности, при среднеэксплуатационной эффективности удаления (извлечения) ферропримесей  $\psi = 90\%$  (0,9) анализируемые параметры составляют: финансовый эквивалент снижения риска —  $\Delta R = 964\,800$  руб. в год (рис. 2, а), относительный риск —  $\Delta R/R_1 = 0,87$  (рис. 2, б), а остаточный риск  $R_2/R_1 = 0,13$  (рис. 2, в).

Примечательным здесь является то, что с учетом финансовых затрат, связанных с применением магнитного сепаратора, его использование оправдано (из финансовых соображений) лишь в случае, если эффективность работы аппарата превышает некую "стартовую" величину: в данном случае 20 %.

Если условно абстрагироваться от финансовых затрат, связанных с применением очистного аппарата, т. е. проигнорировать эти затраты ( $U_1 = U_2 = U$ ), то выражения (7)—(9), последовавшие из выражений (4)—(6), примут вид

$$\Delta R = U \psi \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1} = U \left( 1 - \frac{c_2}{c_1} \right) \frac{\tau_{\text{год}}}{\tau_1}; \quad (10)$$

$$\frac{\Delta R}{R_1} = \psi = 1 - \frac{c_2}{c_1}; \quad (11)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 1 - \psi = \frac{c_2}{c_1}. \quad (12)$$

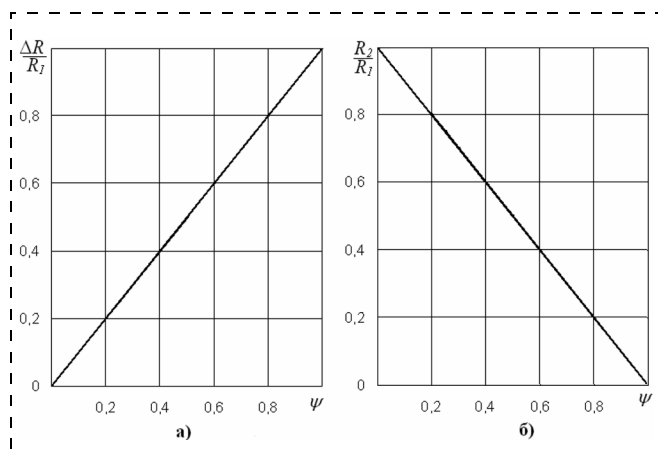


Рис. 3. Зависимости относительного снижения риска (а) и остаточного риска (б) от эффективности удаления ферропримесей из рабочей среды — для случая игнорирования затрат на реализацию рископонижающих мер

Первое из этих полученных выражений, а именно (10), является идеализированным, а выражения (11) и (12) представляют собой, по сути, полноценные вероятностные характеристики опасности рассматриваемого фактора (наличия ферропримесей), причем с учетом вариации величины этого фактора (в виде эффективности удаления ферропримесей  $\psi$  либо относительной остаточной концентрации  $c_2/c_1$ ).

Так, при увеличении эффективности удаления ферропримесей  $\psi$  (повышении степени чистоты рабочей среды) относительное снижение риска  $\Delta R/R_1$  увеличивается (рис. 3, а), причем здесь — совер-

шенно "синхронно", а остаточный риск  $R_2/R_1$  снижается (рис. 3, б). Подчиняясь соответствующим линейным зависимостям, эти параметры полностью удовлетворяют граничным условиям. Так, в частности, при  $\psi = 0$  (а это соответствует случаю отсутствия очистки рабочей среды от ферропримесей):  $R_2/R_1 = 1$ , т. е.  $R_2 = R_1$  (остаточный риск, естественно не уменьшился по сравнению с изначальным). А при  $\psi = 1$  (т. е. осуществлена полная очистка рабочей среды от ферропримесей):  $R_2/R_1 = 0$ , т. е.  $R_2 = 0$  (остаточный риск отсутствует, что соответствует "безрисковому" режиму работы, разумеется, по данному фактору, связанному с дестабилизирующим влиянием ферропримесей на работу оборудования).

Вообще же, судя по полученным зависимостям (11) и (12), относительное снижение риска  $\Delta R/R_1$  — это по существу эффективность  $\psi$  рископонижающей меры (эффективность удаления ферропримесей), а остаточный риск — это по существу дефицит этой эффективности или, переходя к концентрационной характеристике — относительное уменьшение концентрации ферропримесей.

#### Список литературы

1. Сандуляк А. А., Сандуляк А. В., Ершова В. А., Пугачева М. Н. Риск как функция содержания ферропримесей в рабочих средах энергообъектов // Безопасность в техносфере. — 2008. — № 6. — С. 7–15.
2. Махутов Н. А. Оценка рисков объектов технического регулирования // Вопросы разработки технических регламентов. — М., Минпромэнерго, 2007. — С. 36–63.
3. Федеральный закон № 184-ФЗ "О техническом регулировании" от 27.12.2002 г.

## ИНФОРМАЦИЯ

### 3-й Воронежский промышленный Форум

10–12 февраля 2010 г.

Воронеж, Выставочный Центр ВЕТА

В рамках Форума пройдут выставки "Экология в промышленности", "Промэкспо", "Энергоресурс. ЖКХ", "Инновации. Инвестиции"

#### Контакты:

Тел./факс: +7 (4732)773-683, 51-20-12,

e-mail: smi@veta.ru

www.veta.ru

УДК 628.16

Г. В. Славинская, д-р хим. наук, проф., О. В. Ковалева, асп.,  
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет  
E-mail: kovov84@mail.ru

## Влияние поверхностно-активных веществ естественного и искусственного происхождения на качество питьевой воды

*Показано преобразование безвредных органических веществ природных вод в токсичные при контакте со сточными водами и обеззараживании хлором. Приведены результаты экспериментальной оценки действия озона на фульвокислоты (ФК) природных вод. Установлено образование новых кислот, более сильных, чем ФК исходные. Обозначена проблема поверхностно-активных веществ (ПАВ) в питьевых водах.*

**Ключевые слова:** гумусовые кислоты, комплексы с тяжелыми металлами, канцерогенные хлорпроизводные, озонирование, вторичное загрязнение продуктами озонирования, анионные ПАВ, очистка сорбцией.

**Slavinskaya G. V., Kovaleyva O. V. Influence of surface-active substances of natural and artificial origin on the quality of drinking water**

*Transformation of harmless organic substances of natural waters into toxic ones is shown at the contact with sewage and disinfecting by chlorine. Results of an experimental estimation of ozone action on fulvic acids of natural waters are given. Formation of new acids stronger than initial fulvic acids is established. The problem of surface-active substances in drinking water is pointed out.*

**Keywords:** humus acids, compounds with heavy metals, ozonization, secondary pollution by products of ozonization, anionactive surface-active substances, treatment by adsorption.

В конце XX века стал близким к реализации прогноз французского естествоиспытателя Ламарка, который еще в 1802 году написал провидческую фразу: "Человечеству суждено истребить себя после того, как он сделает Землю непригодной для обитания". Действительно, в настоящий момент человечество столкнулось с фактом дефицита воды, которую можно использовать без риска для здоровья и жизни человека. На фоне все возрастающей степени денатурализации природных вод во всех странах мира обозначилась тенденция ужесточения требований к качеству воды: постоянно увеличивается число нормируемых примесей и снижается их допустимая концентрация. Так, Европейские "Директивы о воде" установили требования к каче-

ству воды поверхностных источников для питьевого водоснабжения по 146 ингредиентам [1]. В этом списке примеси антропогенного характера, образующиеся в результате деятельности человека. Однако на качество питьевой воды оказывают заметное влияние вещества, содержащиеся в водах, не подвергшихся загрязнению отходами. Это органические соединения, которые сами по себе никакой опасности для здоровья человека не представляют, однако при смешивании со сточными водами и в результате обработки, например, при обеззараживании, превращаются в нежелательные компоненты питьевой воды.

### Гумусовые кислоты в питьевой воде

Чаще всего источником водоснабжения городов является речная вода. Качество ее подготовки в питьевых целях регламентируют соответствующие государственные стандарты. Так, ГОСТ 2874—57, действовавший с 1957 по 1972 г., ограничивал присутствие органических веществ величиной цветности 20 градусов хромово-кобальтовой шкалы, что является косвенным показателем присутствия поверхностно-активных, окрашенных в желто-коричневый цвет соединений — гумусовых кислот — высокомолекулярных гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК). В более поздних стандартах, например, в ГОСТ 2874—82 "Вода питьевая", который действовал до 1996 г., кроме цветности указано одно органическое вещество — полиакриламид, применявшийся для удаления взвешенных веществ из природных мутных вод коагуляцией.

С 1996 г. введен новый нормативный документ "Санитарные правила и нормы качества питьевой воды" — СанПиН 2.1.4.559—96, в который кроме неорганических веществ уже включены некоторые токсичные примеси органического характера: фенолы (0,25 мг/л), нефтепродукты (0,1 мг/л) и анионные ПАВ (0,5 мг/л). Впервые указано допустимое общее количество органических примесей, определяемое величиной перманганатной окисляемости (ПО), которая не должна превышать 5 мг O<sub>2</sub>/л. Эти же нормы устанавливает СанПиН 2.1.4.1074—2001 [2], действующие с 2001 г.



Таблица 1

## Содержание органических веществ в природных водах

Город	ПО, мг O <sub>2</sub> /л	ГК, мг/л	ФК, мг/л	Аминокислоты, мкг-экв N/л		Сахара, мкг/л	Эфиры, мкг-экв/л	Карбоновые кислоты, мкг-экв/л
				свободные	в гидролизатах			
Запорожье	9,3	0,45	13,5	4	80	—	140	16
Москва	9,0	0,44	13,4	6	120	—	110	17
Таллинн	4,8	0,26	5,7	10	55	—	100	21
Воронеж (артез.)	1,2	0,03	1,1	15	140	700	90	10
Река Усманка (Воронеж)	13,5	0,50	10,5	32	250	600	85	30
С.-Петербург (Нева)	6,5	0,55	10,5	10	120	550	100	20
Киев (артез.)	1,0	0	0,55	5	60	380	85	16
Рязань (артез.)	0,9	0	1,5	—	—	—	—	13
Река Ока	7,0	0,25	6,6	50	235	760	—	19
Красноярск	2,2	0,06	2,3	27	110	287	—	20
Река Вятка	10,0	0,80	26,0	30	130	1250	40	25
Питкяранта	13,5	—	12,0	19	140	1600	35	10
Зеленоград	0,9	—	4,80	25	95	680	15	—
Новгород	15,5	0,80	4,0	4	140	2000	—	100

Очистка воды от органических веществ в питьевом водоснабжении проводится в крупных городах, да и то она чаще всего ограничивается реагентной коагуляцией для снижения цветности воды [3]. Если таковая не выше нормы, то на многих городских водоочистных станциях этап удаления окрашенных примесей коагуляцией не предусмотрен вообще. Основной фактор, который вынуждает применить коагуляцию, — мутность воды, обусловленная присутствием коллоидных и грубодисперсных веществ, возрастающая в паводковые периоды.

Если информации о качественном и количественном составе неорганических примесей в природных водах достаточно много [3], то сведения о содержании органических примесей встречаются не часто. Поэтому было определено содержание органических веществ нескольких классов в речных и артезианских водах на Европейской территории стран СНГ в разные сезоны года (более 40 источников). Данные о некоторых из них представлены в табл. 1.

Оказалось, что в природных водах доминируют ГК и ФК, причем фульвокислот в 10...30 раз больше, чем гуминовых; в воде открытых водоемов веществ органического характера на порядок больше, чем в воде из артезианских скважин; ФК присутствуют в артезианских водах даже при низкой окисляемости и в отсутствие гуминовых кислот; после кислотного гидролиза сухого остатка воды (при 120 °С в запаянных ампулах в течение 24 ч) определяется много аминокислот, что является результатом разрушения гумусовых веществ, которые содержат аминокислоты в качестве боковых цепочек.

Таким образом, в природных водах присутствуют как органические электролиты (например, ГК, ФК, органические кислоты), так и неэлектролиты (сахара, эфиры и т. д.). Многочисленные формулировки понятий "гуминовые кислоты" и "фульвокислоты" определяют их как окрашенные высокомолекулярные, высокозамещенные ароматические

полидисперсные образования, близкие по химической природе к оксиполикарбоновым кислотам, в структуру которых входят различные кислородсодержащие группы: карбоксильные; фенольные и спиртовые гидроксилы; эфирные, кетонные группировки и др.

Водный гумус из-за присутствия функциональных групп способен образовывать комплексы с тяжелыми металлами, поэтому наличие ГК и ФК в питьевой воде нежелательно. Так, выявлены комплексные соединения с ионами меди, кадмия, кобальта, хрома, никеля, свинца [4], марганца, цинка [5], алюминия, железа [6] и др. Установлено, что в речной воде 90, 50, 75 и 90 % содержащихся в ней соответственно свинца, меди, цинка и кадмия входят в состав растворимых комплексов с фульвокислотами [4].

Кроме того, ГК и ФК обладают способностью к реакциям присоединения, обмена, нейтрализации и адсорбции органических веществ разных классов. В результате этих процессов появляются соединения ГК и ФК с целыми группами веществ, среди которых доминируют галогенсодержащие продукты, протеины, пластификаторы, гербициды, инсектициды и другие компоненты, обладающие большой биологической активностью [7]. Так как со сточными водами все эти соединения поступают в природные воды, ГК и ФК в результате реакций взаимодействия с ними становятся "носителями" органических и минеральных веществ, которых не должно быть в питьевой воде. Поэтому удаление водного гумуса, а следовательно, и ионов тяжелых металлов, целесообразно с позиций повышения безопасности питьевой воды.

#### Последствия хлорирования природных вод

Потребители получают дезинфицированную хлорсодержащими агентами воду. Хлорирование было и пока остается основным способом стерилизации

питьевой воды, что объясняется не только доступностью и быстродействием его соединений на органические вещества микробной клетки, но и консервацией жидкости в течение довольно длительного времени. Однако образующиеся хлорорганические вещества способствуют ухудшению санитарно-гигиенических показателей качества воды [8].

В 1974 г. идентифицированы тригалогенметаны (ТГМ), образовавшиеся при обработке гумуссодержащих природных вод активным хлором. Это способствовало развитию всестороннего изучения образующихся продуктов, исследования их влияния на живой организм и выявления источников ТГМ.

Во многих работах упоминается о возможной связи между заболеванием раком почек и печени с содержанием хлорпроизводных в воде; показана способность хлороформа к аккумуляции живыми организмами. При исследовании токсичных свойств трихлорэтана, бромдихлорметана в дозах, составляющих 1/10 от LD<sub>50</sub> (летальная доза для 50 % особей в течение суток) по прошествии месяца наблюдалось увеличение массы печени и снижение массы селезенки у мышей [9]. Отмечено также падение количества фибриногена, что указывает на уменьшение способности печени к синтезу протеина. Влияние хлороформа на нервную систему общеизвестно.

В результате проведения оценки мутагенной активности хлорированной воды и ряда хлорпроизводных установлено, что количество возникающих мутагенактивных ингредиентов связано как с концентрацией гумусовых фракций в воде, так и с дозой хлорирующего агента [9]. Мутагенная активность хлорированной воды зависит от времени года: ниже летом и несколько выше весной и заметно выше осенью.

Современные инструментальные методы позволили выделить и идентифицировать огромное количество и других органических соединений, которые могут быть исходными для образования хлорпроизводных, но основную опасность представляют именно гуминовые вещества, так как среди органических примесей воды их на порядок больше, чем всех остальных веществ органической природы (см. табл. 1).

Вопрос о механизме и закономерностях образования токсичных продуктов в результате хлорирования природных вод постоянно обсуждается

как за рубежом, так и у нас в стране. Установлено, что при хлорировании воды разных источников в реакцию замещения, окисления или присоединения с хлором вступает от 10 до 90 % органических веществ. Таким образом, взаимодействие ФК и ГК с хлором делает их потенциально опасными для здоровья человека [10].

### Озонирование — альтернатива хлорированию?

В последние десятилетия широко обсуждается целесообразность замены хлорирования воды озонированием, что должно способствовать улучшению качества питьевой воды, так как исключается образование токсичных хлорсодержащих продуктов. При этом возможное отрицательное влияние озона не обсуждается. Для выяснения характера изменений органических веществ при действии озона было проведено озонирование ФК как наиболее представительной группы естественных органических примесей природных вод.

Обработке озоном подвергали раствор выделенного из невской воды и полностью деминерализованного препарата ФК. Чтобы определить возможные изменения содержания разных элементов, установлен элементный состав ФК до и после озонирования в течение разного времени, причем при этом было поглощено разное количество озона. Определена также масса ФК (С<sub>ФК</sub>) в растворе после озонирования и перманганатная окисляемость продуктов озонлиза ФК. Данные проведенного анализа отражены в табл. 2.

Установлено, что при окислении озоном резко уменьшилась цветность раствора, при этом масса ФК в растворе снизилась незначительно. Однако это не говорит о неизменности состава препарата. При очевидной убыли содержания углерода наличие природного количества Н, N, O. Определено значительное уменьшение доли легко окисляющихся фракций ФК: перманганатная окисляемость при неизменной массовой концентрации вещества уменьшилась на 40 %. Количество азота возрастает в связи с тем, что могли присоединиться его оксиды, образующиеся в озонаторе из азота воздуха. Возможно, часть углерода окислилась до СО<sub>2</sub>. Убыль углерода в сухом остатке компенсировалась появлением кислородсодержащих групп, не обязательно карбоксильных. Это могут быть кетонные, аль-

Таблица 2

Элементный состав фульвокислот

Поглощено мг О <sub>3</sub> /мг ФК	Содержание, %				С <sub>ФК</sub> , г/кг	Снижение С <sub>ФК</sub> , г/кг	ПО, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> (±10)
	С (±0,2)	Н (±0,05)	N (±0,04)	O (±0,03)			
0	46,7	5,0	1,2	47,1	2,168	—	500
0,23	40,4	6,4	1,5	51,7	1,984	0,184	310
0,29	38,1	9,3	2,5	50,1	2,010	0,158	—



Таблица 3

Изменение физико-химических характеристик ФК при действии озона

Доза O <sub>3</sub> , мг/мг ФК	C <sub>ФК</sub> , г/кг раствора	C <sub>COOH</sub> , $\frac{\text{мг} - \text{экв}}{\text{г ФК}}$	pH $\pm 0,04$	Эквивалентная масса ФК	pK <sub>a</sub>	$\chi \cdot 10^{-4}$ , Ом <sup>-1</sup> · см <sup>-1</sup>
0	1,016	4,15	2,37	242	4,2	3,87
0,13	0,930	6,46	2,17	148	3,7	7,17
0,23	0,883	6,62	2,18	138	3,5	7,82
0,29	0,831	6,68	2,22	153	3,6	9,90

дегидные, эфирные группы или спиртовые гидроксилы, которые вряд ли улучшают качество воды.

Для всесторонней оценки продуктов взаимодействия ФК и озона проведено исследование препарата с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). На хроматограммах озонированных образцов высота всех пиков снижается тем в большей мере, чем больше поглощено раствором озона, что свидетельствует о разрушении исходной структуры вещества (это объясняет обесцвечивание раствора), но новых пиков на хроматограммах нет. Хотя продуктов разрушения ФК в виде фрагментов не удалось обнаружить, тем не менее, факт окисления ФК в результате озонирования установлен методом потенциометрического титрования при определении содержания карбоксильных (COOH) групп в образцах ФК до и после действия озона. По кривым титрования рассчитаны константы ионизации, эквивалентная масса исходных и озонированных ФК (табл. 3).

Очевидно, продукты озонлиза имеют на 50 % больше карбоксильных групп, чем исходные ФК. Кроме того, они более ионизированы, т. е. представляют собой более сильные кислоты, чем фульвокислоты исходные, поэтому уменьшились величина pH раствора и константа ионизации (pK<sub>a</sub>). Увеличение электропроводности ( $\chi$ ) более чем в 2 раза и уменьшение эквивалентной массы подтверждают факт деструкции ФК, т. е. дробления на более мелкие фракции.

Главные изменения химических свойств и структуры ФК происходят в течение первых 20 мин озонирования, когда поглощается незначительное количество озона — всего 0,13 мг/мг ФК. Потеря массы невелика и составляет 8 %. Продукты озонлиза имеют меньшую степень ароматичности (меньше бензольных колец), чем исходные ФК, и меньшую молекулярную массу.

Таким образом, при обработке ФК природных вод озоном вещества не становится меньше, при этом наряду с деструкцией больших органических молекул происходит изменение качественного состава ФК — обогащение функциональными группами, способными к реакциям присоединения и замещения. Из полученных данных следует, что в озонированной с целью стерилизации воде будут

присутствовать продукты деструкции с неизвестной (не изученной) степенью токсичности.

Из сказанного следует, что перед стерилизацией во избежание образования вторичного загрязнения воды, независимо от типа обеззараживающего агента из нее необходимо удалять гумусовые кислоты, при этом вода будет освобождаться также и от тяжелых металлов, образующих с ФК и ГК устойчивые комплексные соединения.

#### Синтетические ПАВ в природных водах

В литературе в настоящее время ПАВ указываются как одни из самых распространенных химических загрязнителей водоемов. Данная проблема обозначилась в зарубежных научных изданиях уже в середине прошлого столетия. Причиной появления ПАВ в питьевой воде водопроводов является неэффективность очистки сточных вод от этих соединений на очистных сооружениях. В России ограничения на содержание анионных ПАВ в питьевой воде (ПДК 0,5 мг/л) введены в 1996 году.

В справочнике [11] обобщены негативные последствия контакта человека и ПАВ. Отмечено, что токсичное действие ПАВ определяется главным образом неполярной частью молекулы. Поверхностно-активные вещества способны уменьшать проницаемость биологических мембран эритроцитов, миелиновых оболочек нервов и эпителия кишечника; вызывают нарушения в центральной нервной системе, системе крови, желудочно-кишечном тракте; вредят органам выделительной системы (печени и почкам). Существуют данные о возможности канцерогенного действия некоторых ПАВ, например сульфанола. Многие ПАВ оказывают аллергенное действие при любом пути поступления в организм: через кожу, верхние дыхательные пути или желудочно-кишечный тракт [11]. Поверхностно-активные вещества, вступая во взаимодействие с клетками, способствуют развитию атеросклероза; интенсификации белкового и углеводного обмена; нарушению функции печени, почек, иммунной и репродуктивной систем. При совместном присутствии ПАВ, металлов, пестицидов, других веществ, токсичность их усиливается.

Существует много специальной литературы, где приводится перечень негативного влияния ПАВ не только на человека, но и на гидробионты. Поверх-



ностно-активные вещества тормозят процессы окисления других органических примесей воды; способствуют всасыванию в ткани рыб других токсичных соединений; стабилизируют запахи, обусловливаемые другими соединениями, загрязняющими воду и др.

Очевидно, проблема ПАВ стоит остро в водоподготовке повсеместно, но особенно она проявляется там, где не позаботились своевременно об очистке от них сточных вод. Например, угроза появления анионных ПАВ в питьевой воде г. Воронежа возникла в связи с загрязнением подземных вод некалем  $C_{18}H_{23}SO_3Na$  (дибутилнафталинсульфонатом натрия), который использовался в течение многих лет в производстве каучука. Так как очистных сооружений не было, сточные воды с 1949 по 1964 г. сбрасывались на поля фильтрации, расположенные в зоне питания Никольского водозабора [12]. В Воронеже подземные воды являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения миллионного города. Для обеспечения населения водой ее подают несколько водоподъемных станций. Следы некаля обнаружены уже в двух водозаборах. Несмотря на дефицит воды в городе, построенная новая скважина не может быть задействована, так как рядом располагается купол загрязненных некалем вод площадью  $7,5 \text{ км}^2$ , в котором содержание некаля достигает 1600 ПДК (происходит подсос загрязненной воды [13]).

С 1984 по 2000 г. проводилась деструктивная очистка подземных вод обработкой ускоренными электронами с помощью электронно-лучевых устройств ЭЛВ-6 (эффективность около 50 %). Очевидно, деструкция даже 50 % содержащегося в воде некаля не делает воду чище. Анализ структуры и свойств образовавшихся продуктов деструкции не проводился, поэтому нельзя исключить возможности образования соединений еще более токсичных, чем некаль. Его, на наш взгляд, нужно удалять из воды, а не видоизменять. Поэтому разработка различных вариантов технологии удаления ПАВ из воды является общей актуальной проблемой водоподготовки питьевого назначения.

Известно применение с этой целью различных методов, в том числе деструкционных, окислительных, термических, сорбционных с использованием активированных углей. Применение твердых сорбентов этого типа предполагает их регенерацию, которую чаще всего проводят термическим способом, для чего уголь извлекают из фильтров, просушивают и затем прокаливают в специальных аппаратах без доступа воздуха. При этом до 30 % дорогостоящего материала (активированного угля) теряется.

Возможной альтернативой минеральным сорбентам могут быть синтетические аниониты, преимуществом применения которых является возможность восстановления сорбционной активности

действием реагентов в том же самом фильтре, в котором осуществлялся сорбционный процесс.

Нами исследована сорбционная активность ряда анионитов разного типа в отношении некаля. Из них низкоосновные могут представлять практический интерес, так как сорбция составляет до 400 мг некаля/г анионита.

## Выводы

1. Поверхностно-активные вещества природного происхождения (ГК и ФК) представляют угрозу здоровью человека, так как взаимодействуют с токсичными органическими веществами сточных вод и связывают тяжелые металлы в устойчивые водорастворимые комплексы.

2. При хлорировании ГК и ФК образуют хлорпроизводные соединения, обладающие канцерогенной и мутагенной активностью.

3. Синтетические ПАВ негативно влияют на человека, гидробионты и водоемы. Можно только предполагать степень токсичности хлорированной воды, содержащей ПАВ.

4. Обеспечить безопасность питьевой воды невозможно без ее очистки от органических веществ естественного и искусственного происхождения.

## Список литературы

1. **Desmars M.** Directives européennes concernant l'eau. Les incidences pour les collectivités locales françaises // Techn., sci., meth. — 1992. — № 1. — P. 5.
2. **Питьевая вода.** СанПиН 2.1.4.1074-01. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора. — 2002. — 103 с.
3. **Рябчиков Б. Е.** Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. — М.: Де Ли принт, 2004. — 326 с.
4. **Klenke T.** Sedimente, Humin- und Fulvosäuren — Indikatoren zur Schwermetallbelastung von Flußsystem // GWF. Wasser-Abwasser. — 1996. — Bd. 127. — № 12. — S. 650—657.
5. **Giannisis Demosthene.** Role of humic substances on the elimination of a trace metal cation // Heavy Metals Environ. Int. Conf., Athens, Sept., 1995. — № 1. — Edinburgh, 1995. — P. 283—285.
6. **Valentini M. T.** Metal-humic and fulvic acid interactions in fresh water ultrafiltrate fractions // Chem. Ecol. — 1993. — Vol. 1. — № 4. — P. 279—291.
7. **Choi W. W.** Associations of chlorinated hydrocarbon with fine particle and humic substances in neashore surficial sediments // Environ. Sci. Technol. — 1996. — № 10. — P. 782.
8. **Slavinskaya G. V.** Chlorination effect of quality of drinking water // Chemistry and technology of water. — 1991. — Vol. 13. — № 11. — P. 1013—1022.
9. **Becher G., Carlberg G.** High-performance size exclusion chromatography of chlorinated natural humic water and mutagenicity studies using the microscale fluctuation assay // Environ. Sci. and Technol. — 1995. — Vol. 19. — № 5. — P. 422.
10. **Schnitzer M., Krendorff H.** Reactions of fulvic acid with metal ions // Water, Air and Soil Pollut. — 1991. — Vol. 15. — № 1. — P. 27—108.
11. **Вредные вещества** в промышленности: Органические вещества. Справочник / Под общ. ред. Э. Н. Левиной и И. Д. Гаданской. — Л.: Химия, 1985. — 464 с.
12. **Доклад** о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2006 году. — Воронеж, 2006. — 63 с.
13. **Калугина Н. В.** Мониторинг подземных вод. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2003/02/kalugina>.

УДК 614.8 + 628.1

Ю. Г. Абросимов, канд. техн. наук, проф. Хоань Зань Бинь, адъюнкт,  
Академия ГПС МЧС России  
E-mail: hung76@mail.ru

## Расчет потерь напора при течении воды в рукавных линиях противопожарного водоснабжения

На основании проведенных натурных экспериментальных исследований получены расчетные формулы для определения потерь напора в рукавных линиях противопожарного водоснабжения с учетом условий работы напорного пожарного рукава. Обобщены опытные данные во всем практически значимом диапазоне изменения расхода воды на пожаротушение. Приведены значения сопротивлений рукавов при оценочных расчетах. Выполнен анализ причин расхождения опытных данных различных авторов.

**Ключевые слова:** потери напора, сопротивление рукава, удельное сопротивление (сопротивление единицы длины рукавной линии), расход воды, напорный пожарный рукав, пожарный ствол.

**Abrosimov Yu. G., Hoang Danh Binh.**  
*Calculation of losses pressure's at a water current in fire horse of fire-prevention water supply*

On the basis of the spent natural experimental researches settlement formulas for definition of losses of a pressure in sleeve lines fire-prevention waters of supply taking into account working conditions of a pressure head fire hose are received. Generalization of skilled data in all practically significant range of change of the expense of water on fire extinguishing is spent. Values of resistance of sleeves for estimated calculations are given. The analysis of the reasons of a divergence of the skilled given various authors is made.

**Keywords:** pressure losses, resistance of a sleeve, specific resistance (resistance of unit are long water hose lines), the water expense, a pressure head fire hose, a fire trunk.

### Введение

Одним из основных элементов систем подачи воды на пожаротушение являются пожарные рукава. В имеющихся справочниках даются постоянные значения сопротивления пожарных рукавов, т. е. предполагается работа рукавов в квадратичной области во всем практически значимом диапазоне определяющих параметров. Однако в ряде работ [1, 2 и др.] имеются сведения о том, что пожарные рукава за-

частую работают в промежуточной области сопротивления. В количественном отношении данные различных авторов существенно расходятся. Поэтому требуется получение достаточно точных расчетных соотношений для определения потерь напора в рукавных линиях и анализ причин имеющихся расхождений опытных данных.

Схема экспериментальной установки и порядок соединения измерительных участков показаны на рис. 1.

Измерительный участок 3 был длиной 100 м (5 рукавов), что позволяло измерять достаточно большой перепад давления и определять сопротивление линий с учетом рукавных соединений. Для повышения точности опытов использовался набор образцовых манометров с пределами измерений (кгс/см<sup>2</sup>)\* 0...2,5; 0...4; 0...6; 0...10 и измерения проводились только во второй половине шкалы манометров. Температура воды измерялась на входе в опытный участок.

В опыте использовались рукава латексированные (ТУ 75.080.05.026—89) и льняные (ТУ 17РСФСР40-10257—82). Исследование льняных рукавов было выполнено в связи с тем, что они еще находятся в эксплуатации.

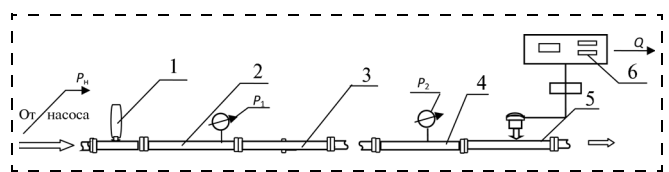


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

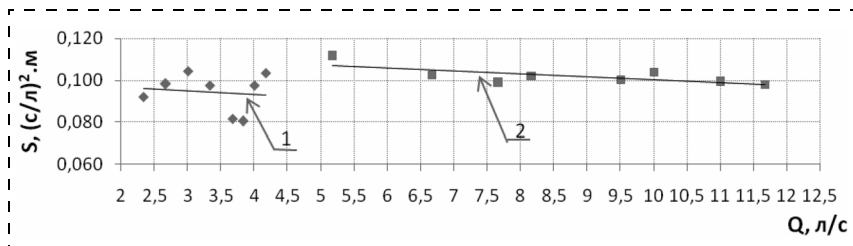
1 — пневмогидроаккумулятор; 2 — вставка с манометром на входе; 3 — рукав пожарный (5 шт. × 20 м); 4 — вставка с манометром на выходе; 5 — турбинный преобразователь расхода РТР; 6 — универсальный электронный преобразователь МВ1К — 1000Т

### Обработка опытных данных

Выполненные измерения позволяют определить потери напора (м)

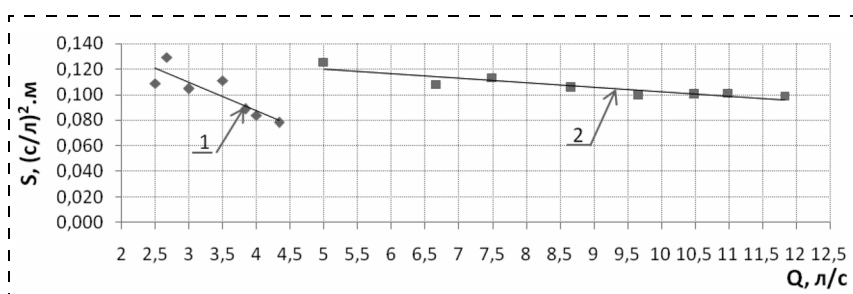
$$h = \frac{P_1 - P_2}{\rho g},$$

\* 1 кгс/см<sup>2</sup> ≈ 98,1 кПа.



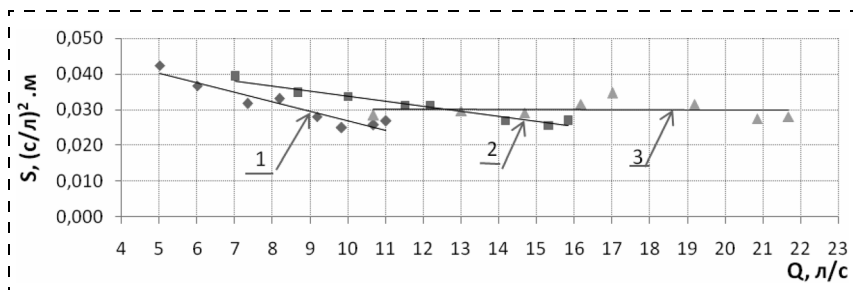
**Рис. 2.** Зависимость сопротивления  $S$  от расхода воды. Рукава для химически активной среды с условным диаметром 51 мм:

1 — ствол с насадком 13 мм; 2 — свободный излив из рукава; зависимости 1, 2 по формулам (1), (2) табл. 1



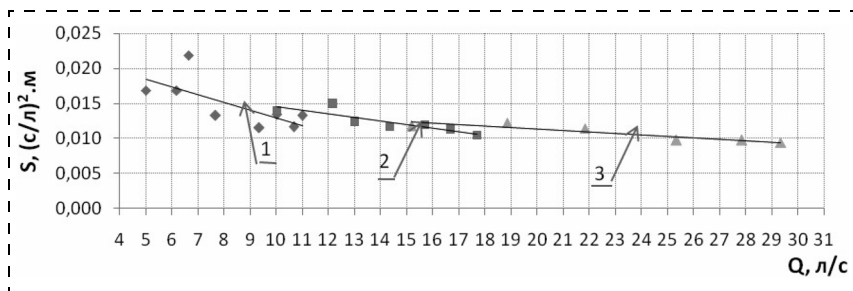
**Рис. 3.** Зависимость сопротивления  $S$  от расхода воды. Рукава с латексным гидроизоляционным покрытием с условным диаметром 51 мм:

1 — ствол с насадком 13 мм; 2 — свободный излив из рукава; зависимости 1, 2 по формулам (3), (4) табл. 1



**Рис. 4.** Зависимость сопротивления  $S$  от расхода воды. Рукава с латексным гидроизоляционным покрытием с условным диаметром 66 мм:

1 — ствол с насадком 19 мм; 2 — ствол с насадком 22 мм; 3 —  $\Delta$  свободный излив из рукава; зависимости 1, 2, 3 по формулам (5)–(7) табл. 1



**Рис. 5.** Зависимость сопротивления  $S$  от расхода воды. Рукава с латексным гидроизоляционным покрытием с условным диаметром 77 мм:

1 — ствол с насадком 19 мм; 2 — ствол с насадком 22 мм; 3 — свободный излив из рукава; зависимости 1, 2, 3 по формулам (8)–(10) табл. 1

где  $P_1$  и  $P_2$  — давление в начале и в конце измерительного участка, Па;  $\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $Q$  — расход воды в рукаве, л/с.

При практических расчетах потерь напора удобно использовать формулы вида:

$$h = nSQ^2, \quad (1)$$

где  $n = 5$  — количество однотипных последовательно соединенных рукавов;  $S$  — гидравлическое сопротивление одного рукава, (с<sup>2</sup>/л<sup>2</sup>) · м, включающее в себя местное сопротивление соединений с другими рукавами;  $Q$  — расход воды в рукаве, л/с.

Удобно также использовать формулы вида:

$$h = AlQ^2, \quad (2)$$

где  $A$  — сопротивление единицы длины рукавной линии, с<sup>2</sup>/л<sup>2</sup>;  $l$  — длина рукавной линии, м;  $Q$  — расход воды в линии, л/с.

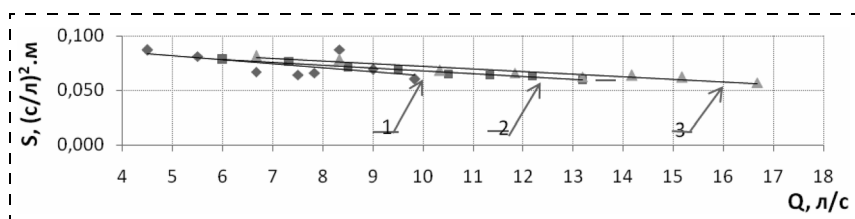
Из сопоставления формул (1) и (2) видно, что:

$$nS = Al. \quad (3)$$

Результаты обработки опытных данных, полученных в натуральных экспериментах приведены на рис. 2–7.

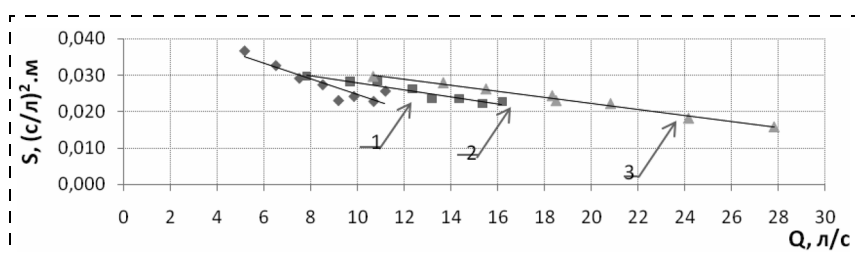
Наибольший разброс опытных данных наблюдался (см. рис. 2) для рукавов диаметром 51 мм при работе на ствол с насадком диаметром  $d_n = 13$  мм ( $Q = 2 \dots 4,5$  л/с), что объясняется не только низкой точностью измерения малых расходов воды и малых перепадов давления, но и значительным изменением давления в рукавной линии от опыта к опыту и связанным с ним изменением состояния внутренней поверхности рукава. При свободном изливе воды из рукава  $d_{\text{всл}} = 51$  мм разброс опытных данных значительно меньше, так как заметно увеличивается величина перепада давления и расхода воды и повышается точность измерения.

Условия эксплуатации рукава оказывают определенное влияние на характер зависимостей  $S$  и  $A$ . Усло-



**Рис. 6. Зависимость сопротивления  $S$  от расхода воды. Льняные рукава с условным диаметром 66 мм:**

1 — ствол с насадком 19 мм; 2 — ствол с насадком 22 мм; 3 — свободный излив из рукава; зависимости 1, 2, 3 по формулам (11)—(13) табл. 1



**Рис. 7. Зависимость сопротивления  $S$  от расхода воды. Льняные рукава с условным диаметром 77 мм:**

1 — ствол с насадком 19 мм; 2 — ствол с насадком 22 мм; 3 — свободный излив из рукава; зависимости 1, 2, 3 по формулам (14)—(16) табл. 1

вия работы рукавной линии можно характеризовать используемым пожарно-техническим оборудованием в конце линии (стволы с насадками диаметром 13 мм, 19 мм, 22 мм и свободный излив из рукава при перекачке или заполнении емкости), средним давлением в линии,

$$\text{кгс/см}^2, P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2}{2}, \text{отношением}$$

значений давления в начале и конце линии  $P_1/P_2$ , расходом в линии. Эти сведения приведены в графе 3 табл. 1.

В графе 4 приведены полученные на основании опытных данных расчетные формулы для сопротивления рукава длиной 20 м, а в графе 5 для сопротивления 1 м рукавной линии, т. е. удельного сопротивления  $A$ .

Таблица 1

Расчетные формулы с учетом условий работы рукавной линии

№ формулы	Материал рукава и условный диаметр	Условия работы	Расчетная формула для определения $s$ , $(\text{с}^2/\text{л}^2) \cdot \text{м}$	Расчетная формула для определения $A$ , $\text{с}^2/\text{л}^2$
1	2	3	4	5
1	Для химически активной среды, $d_{\text{усл}} = 51 \text{ мм}$	Ствол РС-50, $d_{\text{н}} = 13 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,8 \dots 8,5 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,09 \dots 1,15$ ; $Q = 2 \dots 4,2 \text{ л/с}$	$S = 0,10011 - 1,67 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 5,01 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-5} \cdot Q$
2		Свободный излив из рукава $P_{\text{ср}} = 2 \dots 9,5 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,13 \dots 1,05$ ; $Q = 5 \dots 11,7 \text{ л/с}$	$S = 0,11431 - 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 0,11431 - 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot Q$
3	Рукава с гидроизоляционным покрытием, ТУ 75.080.05.026—89, $d_{\text{усл}} = 51 \text{ мм}$	Ствол РС-50, $d_{\text{н}} = 13 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,8 \dots 8,7 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,08 \dots 1,35$ ; $Q = 2,3 \dots 4,3 \text{ л/с}$	$S = 0,17638 - 2,227 \cdot 10^{-2} \cdot Q$	$A = 8,819 \cdot 10^{-3} - 1,113 \cdot 10^{-3} \cdot Q$
4		Свободный излив из рукава $P_{\text{ср}} = 1,1 \dots 5,5 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 4,4 \dots 5,3$ ; $Q = 5 \dots 11,83 \text{ л/с}$	$S = 0,13794 - 3,55 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 6,897 \cdot 10^{-3} - 1,77 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
5	Рукава с гидроизоляционным латексным покрытием, $d_{\text{усл}} = 66 \text{ мм}$	Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 19 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,75 \dots 8,1 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,21 \dots 1,35$ ; $Q = 5 \dots 11 \text{ л/с}$	$S = 5,342 \cdot 10^{-2} - 2,65 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 2,671 \cdot 10^{-3} - 1,33 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
6		Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 22 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,5 \dots 7,4 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,6 \dots 2$ ; $Q = 7 \dots 16 \text{ л/с}$	$S = 4,811 \cdot 10^{-2} - 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 2,405 \cdot 10^{-3} - 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q$
7		Свободный излив из рукава $P_{\text{ср}} = 1,2 \dots 5,8 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 3,6 \dots 6,2$ ; $Q = 10,6 \dots 21,7 \text{ л/с}$	$S = 3,062 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot Q$	$A = 1,53 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-6} \cdot Q$
8	Рукава с гидроизоляционным латексным покрытием, $d_{\text{усл}} = 77 \text{ мм}$	Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 19 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,8 \dots 7,7 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,09 \dots 1,12$ ; $Q = 5 \dots 11 \text{ л/с}$	$S = 2,402 \cdot 10^{-2} - 1,11 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 2,67 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
9		Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 22 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,75 \dots 8,2 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,2 \dots 1,33$ ; $Q = 8,5 \dots 17,7 \text{ л/с}$	$S = 1,949 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	$A = 2,41 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-5} \cdot Q$
10		Свободный излив из рукава $P_{\text{ср}} = 1,3 \dots 5 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 2,4 \dots 3,3$ ; $Q = 15 \dots 30 \text{ л/с}$	$S = 1,547 \cdot 10^{-2} - 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	$A = 1,531 \cdot 10^{-3} - 1,71 \cdot 10^{-6} \cdot Q$

№ формулы	Материал рукава и условный диаметр	Условия работы	Расчетная формула для определения $S$ , $(\text{с}^2/\text{л}^2) \cdot \text{м}$	Расчетная формула для определения $A$ , $\text{с}^2/\text{л}^2$
1	2	3	4	5
11	Льняные рукава. ТУ 17РСФСР40-10257-82, $d_{\text{усл}} = 66 \text{ мм}$	Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 19 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,5...7,6 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,5...1,8$ ; $Q = 4,5...10 \text{ л/с}$	$S = 9,97 \cdot 10^{-2} - 3,65 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 4,985 \cdot 10^{-3} - 1,82 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
12		Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 22 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,3...6,5 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 2,3...3,2$ ; $Q = 6...13,2 \text{ л/с}$	$S = 9,452 \cdot 10^{-2} - 2,66 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 4,726 \cdot 10^{-3} - 1,33 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
13		Свободный излив из рукава; $P_{\text{ср}} = 1,1...5,1 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 8,2...13,2$ ; $Q = 6,6...16,7 \text{ л/с}$	$S = 9,587 \cdot 10^{-2} - 2,37 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	$A = 4,794 \cdot 10^{-3} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
14	Льняные рукава, $d_{\text{усл}} = 77 \text{ мм}$	Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 19 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,7...8,2 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,2...1,3$ ; $Q = 5...11,2 \text{ л/с}$	$S = 4,622 \cdot 10^{-2} - 2,16 \cdot 10^{-3} \cdot Q$	$A = 2,311 \cdot 10^{-3} - 1,08 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
15		Ствол РС-70, $d_{\text{н}} = 22 \text{ мм}$ ; $P_{\text{ср}} = 1,5...7,5 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 1,4...1,83$ ; $Q = 7,8...16,2 \text{ л/с}$	$S = 3,787 \cdot 10^{-2} - 9,9 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	$A = 1,893 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-5} \cdot Q$
16		Свободный излив из рукава; $P_{\text{ср}} = 1,1...5,9 \text{ кгс/см}^2$ ; $P_1/P_2 = 3...7,5$ ; $Q = 10,6...27,9 \text{ л/с}$	$S = 3,893 \cdot 10^{-2} - 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot Q$	$A = 1,947 \cdot 10^{-3} - 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q$

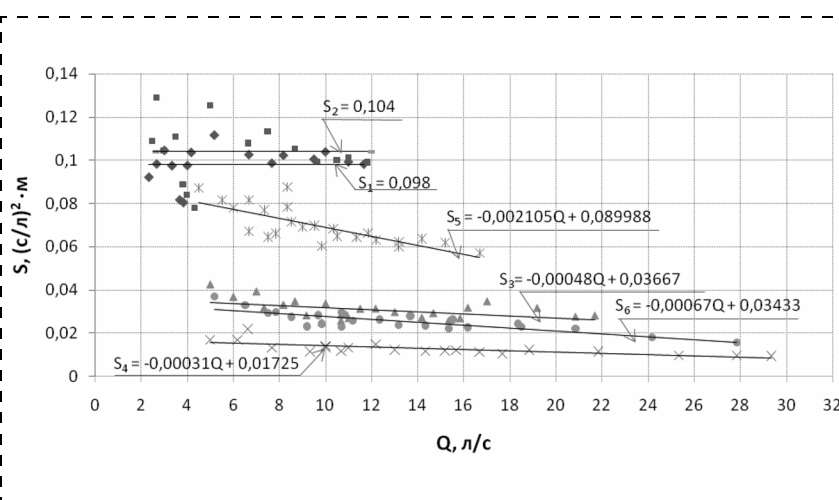
Таблица 2

## Расчетные формулы для напорных пожарных рукавов

№ п/п	Материал рукава	Диаметр рукава $d_{\text{усл}}$ , мм	Расчетная формула для определения $S$ , $(\text{с}^2/\text{л}^2) \cdot \text{м}$
1	Для химически активной среды	51	$S_1 = 0,09827$
2	Рукава с гидроизоляционным латексным покрытием	51	$S_2 = 0,10375$
3	Рукава с гидроизоляционным латексным покрытием	66	$S_3 = 3,667 \cdot 10^{-2} - 4,8 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
4	Рукава с гидроизоляционным латексным покрытием	77	$S_4 = 1,725 \cdot 10^{-2} - 3,06 \cdot 10^{-4} \cdot Q$
5	Льняные	66	$S_5 = 8,999 \cdot 10^{-2} - 2,105 \cdot 10^{-3} \cdot Q$
6	Льняные	77	$S_6 = 3,433 \cdot 10^{-2} - 6,65 \cdot 10^{-4} \cdot Q$

Коэффициенты аппроксимирующих линейных зависимостей находились методом наименьших квадратов.

Условия работы рукавной линии оказывают определенное влияние и на величину гидравлического сопротивления, так как функции  $S = f(Q)$  и  $A = f(Q)$  для одного и того же рукава имеют различные коэффициенты  $a$ ,  $m$  и  $b$ ,  $n$  в зависимостях  $S = a - bQ$  и  $A = m - nQ$ . Однако для одного и того же рукава эти расхождения не столь существенны и была предпринята попытка описать сопротивление  $S$  рукава единой зависимостью для всех условий работы, т. е. во всем исследованном диапазоне  $Q$ . Такие зависимости приведены в табл. 2 и на рис. 8.


 Рис. 8. Зависимость гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов от расхода воды  $Q$ :

$S_1$  — рукава для химически активной среды,  $d = 51 \text{ мм}$ ;  $S_2$  — латексные рукава,  $d = 51 \text{ мм}$ ;  $S_3$  — латексные рукава,  $d = 66 \text{ мм}$ ;  $S_4$  — латексные рукава,  $d = 77 \text{ мм}$ ;  $S_5$  — льняные рукава,  $d = 66 \text{ мм}$ ;  $S_6$  — льняные рукава,  $d = 77 \text{ мм}$



Таблица 3

Сопротивление одного рукава длиной 20 м для расхода  $Q$ , л/с

№	Материал рукава	Условный диаметр рукава, мм	Сопротивление рукава по данным авторов		Сопротивление рукава по данным ВНИИПО	Сопротивление рукава по данным [2]
			из табл. 2	с учетом коэффициента $K$		
1	2	3	4	5	6	7
1	Для химически активной среды	51	0,098	0,123	—	—
2	Латексные	51	0,103	0,125	0,1374	0,15
3	Латексные	66	0,031	0,0347	0,0378	0,04
4	Латексные	77	0,015	0,015	0,015	0,021
5	Льняные	66	0,072	0,076	0,077	0,07
6	Льняные	77	0,028	0,0297	0,03	0,035

Расхождение в значениях  $S$ , определенных по формулам с учетом условий работы рукавной линии (см. табл. 1) и по единым зависимостям для всего диапазона  $Q$  (см. табл. 2), составляет для химически стойких рукавов  $d_{\text{усл}} = 51$  мм от 0 до 8 %, а для латексных рукавов этого диаметра — от 0 до 16 %.

Обработка опытных данных, приведенных на рис. 8, позволила получить средние значения сопротивлений рукавов для всего исследованного диапазона изменения  $Q$ , которые приведены в табл. 3 и могут быть использованы для оценочных расчетов.

### Сравнение результатов

В графе 6 табл. 3 приведены данные ФГУ ВНИИПО МЧС России, которые были включены в проект норм пожарной безопасности (НПБ) "Расчет насосно-рукавных систем". В графе 7 приведены данные исследования В. И. Яковчука [2].

В табл. 4 приведены значения внутреннего диаметра рукавов, использованных в экспериментах. Диаметры определялись двумя способами. Первый — путем измерения штангенциркулем наружного диаметра рукава при давлениях 0,2...0,6 МПа и тол-

щины стенки рукава. Второй — методом заполнения рукава водой при  $P = 0,4$  МПа и последующим измерением объема воды. Расхождение между определением диаметра рукавов разными способами получилось в пределах 1 %. Диаметры рукавов, использованные в работе, несколько больше, чем условные диаметры. Если привести величину  $S$  к значению, которое должно соответствовать условному диаметру рукава, то надо ввести поправку, равную отношению диаметров в пятой степени. Эти поправки для использованных в работе рукавов приведены в табл. 4.

При учете этих поправочных коэффициентов полученные опытные данные (см. графа 5 табл. 3) практически совпадают с данными ВНИИПО. Следует отметить, что сопротивление рукавов меняется на  $\pm 15...20$  % в пределах допускаемых техническими условиями отклонений расчетного диаметра от условного. Это может обусловить систематические расхождения различных исследований. Определенное отличие опытных данных может быть вызвано разным качеством рукавов. Следует также отметить, что сопротивление рукавов несколько меняется с изменением расхода воды и давления, и определение средней величины будет зависеть от выборки данных, способа осреднения, методики определения расхода и давления.

В работе Яковчука В. М. и Дмитриченко А. С. [7] получено, что для латексных рукавов с  $d_{\text{усл}} = 51$  мм, 66 мм, 77 мм диаметр можно определить по формуле:

$$d_{\text{расч}} = d_{\text{усл}}(0,12 \lg H + 0,88),$$

где  $H$  — напор, м вод. ст.

При напоре 40 м в соответствии с этой формулой расчетный диаметр будет равен:  $d = d_{\text{усл}} \cdot 1,07$ .

Из табл. 5 видно, что при учете отклонения расчетного диаметра от условного по формуле работы [7] полученные опытные данные будут совпадать с данными Яковчука В. М. [1, 2].

Таблица 4

Значения поправочных коэффициентов  $K$  для определения сопротивления рукавов

Материал рукава	Условный диаметр $d_{\text{усл}}$ , мм	Расчетный диаметр $d_{\text{расч}}$ , мм	$K = \left(\frac{d_{\text{расч}}}{d_{\text{усл}}}\right)^5$
1	2	3	4
Латексные	51	53	1,21
	66	67,5	1,12
	77	77	1
Льняные	66	66,7	1,054
	77	77,9	1,06
Химически стойкие	51	53,3	1,25

Таблица 5

**Расчетные диаметры и значения сопротивления для латексных рукавов**

$d_{\text{усл}}$	$d_{\text{расч}}$	$(d_{\text{расч}}/d_{\text{усл}})^5$	Сопротивление рукава длиной 20 м по данным Яковчука В. М. [1, 2]	Сопротивление рукава длиной 20 м по данным работы с учетом изменения диаметра до $d_{\text{расч}}$ по формуле работы [7]
51	54,6	1,4	0,15	0,15
66	70,6	1,4	0,04	0,043
77	82,4	1,4	0,021	0,021

Таблица 6

**Сопротивление прорезиненных и латексных рукавов**

$d_{\text{усл}}$ , мм	Рукава прорезиненные [позиция списка литературы]				Рукава латексные [позиция списка литературы]		
	[4]	[5]	[6]	[2]	[2]	ВНИИПО	авторов
51	0,13	0,15	0,13	0,13	0,15	0,1374	0,131
66	0,034	0,035	0,034	0,034	0,04	0,0378	0,0347
77	0,015	0,015	0,015	0,015	0,021	0,015	0,015

Значения сопротивления для прорезиненных и латексных рукавов близки друг к другу. Данные различных источников приведены в табл. 6.

В опытах [3] для различных схем подачи воды измерялся по расходомеру расход воды, и этот расход рассчитывался по показанию манометра. Рукавные линии собирались из латексных рукавов. Расчет расхода воды велся по значениям сопротивлений прорезиненных рукавов, приведенных в работе [4]. Результаты определения расхода воды расчетным путем и непосредственным измерением практически совпали. Это подтверждает достоверность полученных в работе величин сопротивления рукавов, так как они соответствуют значениям сопротивления прорезиненных рукавов, приведенным в той же работе [4] (см. табл. 6).

**Выводы**

Наиболее точное определение сопротивления рукавов будет в том случае, если расчет выполнять по формулам, приведенным в табл. 1, которые учитывают условия работы рукавной линии.

С удовлетворительной для практических расчетов точностью можно определять сопротивление рукавов только в зависимости от их материала и диаметра по формулам табл. 2. Постоянные значения сопротивления для рукавов можно принимать по табл. 3 для оценочных расчетов.

Основной причиной расхождения опытных данных разных авторов является допускаемое ТУ отличие расчетных диаметров от условных, некоторое отличие в материалах и технологии изготовления рукавов.

При учете изменения диаметра рукавов, допускаемых техническими условиями изготовления, а также при учете изменения диаметра, с изменением давления полученные данные по сопротивлению рукава  $S$  для оценочных расчетов различных авторов практически совпадают.

**Список литературы**

1. Яковчук В. М., Махневич Э. И. Потери напора в пожарных рукавах. Водное хозяйство и гидротехническое строительство // Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып. 21. — БГПА Минск, 2000. — С. 143—146.
2. Яковчук В. М. Исследование гидравлических сопротивлений гибких трубопроводов противопожарного водоснабжения // Белорусская государственная политехническая академия // Материалы Международной 53 Научно-технической конференции. — Минск, 1999. — С. 123.
3. Абросимов Ю. Г., Подгрушный В. В., Ермошин Д. И. Оценка точности определения расхода воды на пожаротушения по показанию манометра на автонасосе // Пожаровзрывобезопасность. — Т. 13. — № 5. — 2004.
4. Абросимов Ю. Г. Гидравлика / Академия ГПС МЧС России. — М., 2005. — С. 180.
5. Иванников В. М., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М.: Стройиздат, 1987. — С. 136.
6. Повзик М. С. Справочник руководителя тушения пожара. Москва Спецтехника 1998 г.
7. Яковчук В. М., Дмитриченко А. С. Экспериментальные исследования по определению изменения диаметра и длины пожарных рукавов в зависимости от внутреннего давления // Тезисы докладов 14 Международной научно-практической конференции ВНИИПО МВД РФ. — М., 1997. — С. 145—146.

**ИНФОРМАЦИЯ**

**15-я специализированная выставка "Безопасность"**  
**4-я специализированная выставка "Охрана и безопасность труда"**  
 16—18 марта 2010 г.

Казань, Выставочный Центр "Казанская ярмарка"

**Тематика выставок:** Безопасность промышленных объектов. Информационная безопасность. Экологическая безопасность. Медицинская безопасность. Современные средства индивидуальной защиты.

Контакты:

Тел./факс: (843) 570-51-07, 570-51-11-круглосуточно  
 E-mail: d4@expokazan.ru, <http://www.exposecurity.ru>, [www.expokazan.ru](http://www.expokazan.ru)



УДК 536.468

Г. В. Кузнецов, В. Ф. Панин, П. А. Стрижак, канд. физ.-мат. наук,  
Томский политехнический университет  
E-mail: pavel.strishak@elesy.ru

## Прогностический анализ пожарной опасности возгораний жидких топлив при проведении ремонтных работ на тепловых электрических станциях

*Выполнен прогностический анализ пожарной опасности возгорания типичного жидкого топлива — мазута нагретыми до высоких температур металлическими частицами, образующимися при проведении ремонтных работ на тепловых электрических станциях. Предложена теоретическая модель для исследования закономерностей таких возгораний. Определены характеристики процессов зажигания и масштабы влияния на них основных параметров источника нагрева.*

**Ключевые слова:** пожарная опасность, возгорание, жидкое топливо, ремонтные работы.

**Kuznetsov G. V., Panin V. F., Strizhak P. A.**  
*Forecasting analyze of fire risk of liquid fuels ignition at repair work on thermal electric power stations*

*Forecasting analyze of ignition fire risk of typical liquid fuel — mazut by heated till high temperatures metal particles forming at repair work on thermal power stations is carried out. Theoretical model for investigation of ignition regularities is presented. Ignition characteristics and influences scales of main heating source parameters are determined.*

**Keywords:** fire risk, ignition, liquid fuel, repair work.

### Введение

Мазут, керосин, бензин и дизельное топливо традиционно используются на тепловых электрических станциях (ТЭС) [1]. Особенно следует отметить мазут, который применяется в качестве основного и резервного топлива. Другие виды горючих жидкостей используются во второстепенных целях (для вспомогательного оборудования, двигателей транспортных средств и т. д.). В то же время все эти типичные жидкие топлива относятся к пожароопасным веществам [2].

В связи со спецификой эксплуатации основного и вспомогательного оборудования на ТЭС часто проводятся ремонтные работы [3]. Необходимость проведения ремонтов главным образом обусловлена использованием на большинстве современных

станций оборудования с большими сроками эксплуатации. Ремонтные работы, как правило, сопровождаются сваркой и резкой металлических конструкций. В результате формируются нагретые до высоких температур частицы [4]. Именно эти частицы нередко выступают источниками возгораний и пожаров [5, 6].

На сегодняшний день созданы теоретические модели, позволяющие численно исследовать механизмы зажигания твердых [7] и жидких конденсированных веществ [8, 9] разогретыми до высоких температур металлическими частицами. Однако не анализировались условия зажигания такими частицами небольших участков разлитого мазута или остатков этого топлива на стенках резервуаров, например, луж и пленок. Соответственно нет моделей, позволяющих оценить пожарную опасность этих процессов.

Цель настоящей работы — прогностический анализ пожарной опасности процессов зажигания тонких слоев мазута разогретыми до высоких температур металлическими частицами.

### Постановка задачи

Так как в большинстве случаев на практике неконтролируемые возгорания регистрируются для небольших луж жидких топлив, то исследования таких процессов можно выполнять на примере пленок жидкостей. К тому же нередко происходит зажигание остатков мазута на стенках резервуаров, в которых хранилось топливо, при проведении огневых работ [5]. Эти остатки также представляют собой пленки топлива. Поэтому рассматривалась система "воздух — разогретая частица — пленка жидкого топлива" (см. рисунок).

Источник нагрева представлял собой частицу расплава металла (сталь), покрытого оболочкой закристаллизовавшегося вещества. Как правило, частицы, формирующиеся при сварке и резке металлов, имеют форму неправильных многогранников, которые достаточно трудно смоделировать. В то же время результаты исследований [7–9] показывают, что форма источников нагрева существенно влияет на характеристики зажигания жидких и твердых конденсированных веществ. Числен-



ное исследование таких процессов можно проводить на примере частиц в форме сферы, диска, параллелепипеда и других тел, моделирование конфигурации которых не представляет больших трудностей. В рассматриваемой системе (см. рисунок) анализ выполнялся на примере частицы в форме диска. В качестве воспламеняемого вещества рассмотрена пленка мазута, разлитого на поверхности твердого тела, представляющего, например, бетонное покрытие, широко используемое на ТЭС. Такие покрытия выступают теплоизоляторами, поэтому при анализе процесса зажигания не учитывался процесс теплоотвода на границе "частица — твердое основание".

Предполагалось, что разогретая до высоких температур металлическая частица попадает на поверхность мазута и погружается в него (рисунок, а). Жидкое топливо нагревается за счет энергии, аккумулированной в частице и выделяющейся при кристаллизации металла. При достижении условий парообразования происходит испарение мазута. Формируется паровой зазор между частицей и жидкостью вблизи боковых граней источника нагрева (рисунок, б). Возрастает концентрация паров горючего в газовой области вокруг частицы. Пары мазута перемешиваются с воздухом, содержащим

пары воды. Формируется парогазовая смесь. Состав этой смеси меняется за счет диффузии паров горючего и воды в воздухе. При достижении критических температур парогазовой смеси и концентрации в ней горючего реализуются условия воспламенения.

Решалась осесимметричная задача в цилиндрической системе координат, начало которой совпадало с осью симметрии источника нагрева (см. рисунок). В пленке жидкости и воздухе выделялись области, существенно превышающие размеры источника ( $r_s = 0,01$  м,  $z_s = 0,02$  м). Источник нагрева представлял собой диск с размерами  $r_1 = z_2 = 0,003$  м. Рассматривалась схема, при которой толщина пленки мазута ( $z_1 = 0,002$  м) меньше высоты частицы.

Принимались следующие допущения:

1. В результате испарения мазута образуется одно вещество с известными характеристиками.
2. Не учитывались возможные процессы выгорания мазута.

В качестве условий воспламенения принимались традиционные [10]:

1. Теплота, выделяемая в результате химической реакции паров горючего с окислителем, больше теплоты, передаваемой от частицы жидкому топливу и в воздух.
2. Температура парогазовой смеси превышает начальную температуру частицы.

### Математическая постановка и метод решения

Система нестационарных нелинейных дифференциальных уравнений для рассматриваемой модели воспламенения (см. рисунок, б) в цилиндрической системе координат имела следующий вид ( $0 < t < t_d$ ):

$$r_1 < r < r_2, 0 < z < z_1; r_1 < r < r_s, z_1 < z < z_2; \\ 0 < r < r_s, z_2 < z < z_s;$$

уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} = \omega; \quad (1)$$

уравнение движения парогазовой смеси:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial r} + w \frac{\partial \omega}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ v_5(T) \frac{\partial \omega}{\partial r} \right] + \\ + v_5(T) \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ v_5(T) \frac{\partial \omega}{\partial z} \right] + \beta g \frac{\partial T_5}{\partial z}; \quad (2)$$

уравнение энергии:

$$\frac{\partial T_5}{\partial t} + u \frac{\partial T_5}{\partial r} + w \frac{\partial T_5}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ a_5(T) \frac{\partial T_5}{\partial r} \right] + \\ + a_5(T) \frac{1}{r} \frac{\partial T_5}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ a_5(T) \frac{\partial T_5}{\partial z} \right] + \frac{Q_0 W_0}{\rho_5(T) C_5(T)}; \quad (3)$$

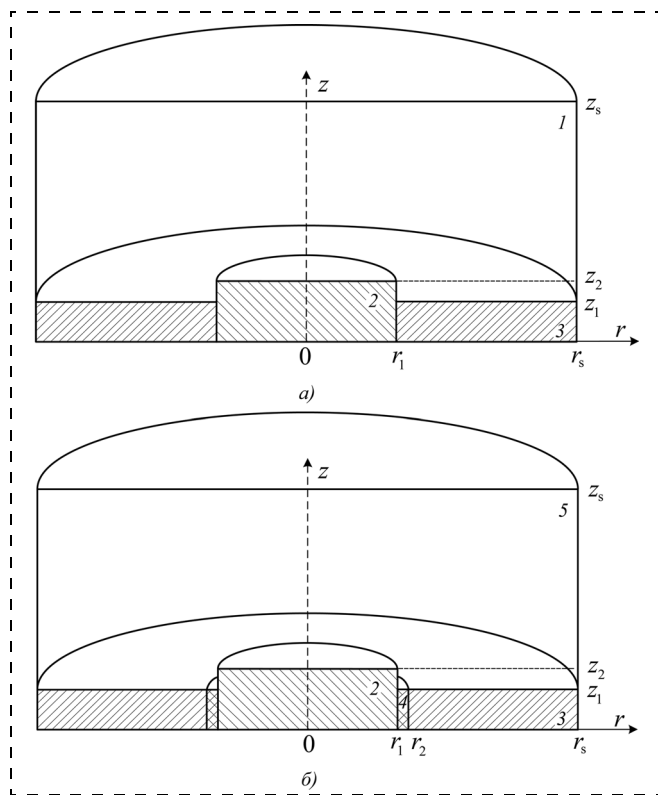


Схема области решения задачи в начальный момент времени ( $t = 0$ ) (а) и при  $0 < t < t_d$  (б):

1 — воздух; 2 — частица; 3 — жидкое топливо; 4 — слой паров горючего; 5 — парогазовая смесь



уравнение диффузии паров горючего в воздухе:

$$\frac{\partial C_f}{\partial t} + u \frac{\partial C_f}{\partial r} + w \frac{\partial C_f}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ D_4(T) \frac{\partial C_f}{\partial r} \right] + D_4(T) \frac{1}{r} \frac{\partial C_f}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ D_4(T) \frac{\partial C_f}{\partial z} \right] - \frac{W_o}{\rho_4(T)}; \quad (4)$$

уравнение диффузии паров воды в воздухе:

$$\frac{\partial C_w}{\partial t} + u \frac{\partial C_w}{\partial r} + w \frac{\partial C_w}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ D_6(T) \frac{\partial C_w}{\partial r} \right] + D_6(T) \frac{1}{r} \frac{\partial C_w}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ D_6(T) \frac{\partial C_w}{\partial z} \right]; \quad (5)$$

уравнение баланса:

$$C_f + C_w + C_o = 1; \quad (6)$$

$$0 < r < r_1, 0 < z < z_2;$$

уравнение теплопроводности для металлической частицы:

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ a_2(T) \frac{\partial T_2}{\partial r} \right] + a_2(T) \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ a_2(T) \frac{\partial T_2}{\partial z} \right] + \frac{Q_c W_c}{z_p \rho_2(T) C_2(T)}; \quad (7)$$

$$r_2 < r < r_s, 0 < z < z_1;$$

уравнение теплопроводности для жидкого топлива:

$$\frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ a_3(T) \frac{\partial T_3}{\partial r} \right] + a_3(T) \frac{1}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ a_3(T) \frac{\partial T_3}{\partial z} \right]. \quad (8)$$

Объемные доли компонентов парогазовой смеси вычислялись из их массовых концентраций  $C_o$ ,  $C_w$ ,  $C_f$  по выражениям:

$$\varphi_1 = \frac{C_o / \rho_1(T)}{C_o / \rho_1(T) + C_w / \rho_6(T) + C_f / \rho_4(T)};$$

$$\varphi_6 = \frac{C_w / \rho_6(T)}{C_o / \rho_1(T) + C_w / \rho_6(T) + C_f / \rho_4(T)}.$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 + \varphi_6 = 1.$$

Теплофизические характеристики парогазовой смеси рассчитывались по формулам:

$$\lambda_5(T) = \lambda_1(T)\varphi_1 + \lambda_4(T)\varphi_4 + \lambda_6(T)\varphi_6;$$

$$C_5(T) = C_1(T)\varphi_1 + C_4(T)\varphi_4 + C_6(T)\varphi_6;$$

$$\rho_5(T) = \rho_1(T)\varphi_1 + \rho_4(T)\varphi_4 + \rho_6(T)\varphi_6.$$

Здесь  $t$  — время, с;  $t_d$  — время задержки воспламенения, с;  $r$ ,  $z$  — координаты цилиндрической системы, м;  $\psi$  — функция тока, м<sup>2</sup>/с;  $\omega$  — вектор

вихря скорости, с<sup>-1</sup>;  $u$ ,  $w$  — составляющие скорости паров горючего в проекции на ось  $r$  и  $z$  соответственно, м/с;  $\nu$  — кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;  $\beta$  — коэффициент термического расширения, К<sup>-1</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $T$  — температура, К;  $a$  — температуропроводность, м<sup>2</sup>/с ( $a = \lambda / (C\rho)$ );  $\lambda$  — теплопроводность, Вт/(мК);  $C$  — удельная теплоемкость, Дж/(кг · К);  $\rho$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_o$  — тепловой эффект реакции окисления паров горючего в воздухе, МДж/кг;  $W_o$  — массовая скорость окисления паров горючего в воздухе, кг/(м<sup>3</sup> · с);  $C_f$  — массовая концентрация паров горючего в смеси;  $D$  — коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $C_w$  — массовая концентрация паров воды в смеси;  $C_o$  — массовая концентрация окислителя в смеси;  $Q_c$  — тепловой эффект кристаллизации источника нагрева, кДж/кг;  $W_c$  — массовая скорость кристаллизации источника нагрева, кг/(м<sup>2</sup> · с); индексы 1, 2, 3, 4, 5, 6 соответствуют воздуху, частице, жидкому топливу, парам горючего, парогазовой смеси, парам воды.

Для вычисления массовых скоростей окисления паров горючего  $W_o$  и кристаллизации материала источника нагрева  $W_c$  использовались формулы, приведенные в работах [8, 9].

В качестве начальных ( $t = 0$ ) условий принимались следующие (рис. 1, а):  $\psi = 0$ ,  $\omega = 0$ ,  $T = T_0$ ,  $C_f = 0$ ,  $C_w = 0$  при  $r_1 < r < r_s$ ,  $z_1 < z < z_2$ ;  $0 < r < r_s$ ,  $z_2 < z < z_s$ ;  $T = T_0$  при  $r_2 < r < r_s$ ,  $0 < z < z_1$ ;  $T = T_p$  при  $0 < r < r_1$ ,  $0 < z < z_2$ .

Граничные ( $0 < t < t_d$ ) условия (см. рисунок, б) выставлялись следующим образом. На границах "частица — пары горючего" ( $r = r_1$ ,  $0 < z < z_1$ ), "частица — парогазовая смесь" ( $r = r_1$ ,  $z_1 < z < z_2$ ,  $z = z_2$ ,  $0 < r < r_1$ ) принимались граничные условия четвертого рода для уравнений энергии и теплопроводности, условие равенства нулю градиентов соответствующих функций для уравнений диффузии, движения, неразрывности. На границах "жидкость — пары горючего" ( $r = r_2$ ,  $0 < z < z_1$ ), "парогазовая смесь — жидкость" ( $z = z_1$ ,  $r_2 < r < r_s$ ) для уравнения энергии выставлялись граничные условия четвертого рода с учетом испарения жидкости, для уравнений диффузии, движения, неразрывности принимались граничные условия второго рода. На внешних границах области решения ( $r = 0$ ,  $r = r_s$ ,  $0 < z < z_s$ ;  $z = 0$ ,  $z = z_s$ ,  $0 < r < r_s$ ) для всех уравнений принималось условие равенства нулю градиентов соответствующих функций.

Алгоритм решения задачи зажигания в рассматриваемой постановке (см. рисунок) и используемые численные методы аналогичны [8, 9].

## Результаты и обсуждение

Исследования выполнялись при следующих значениях исходных данных [11–14]: начальная температура мазута и воздуха  $T_0 = 300$  К; начальная температура стальной частицы  $1100 \leq T_p \leq 1700$  К; энергия активации и предэкспоненциальный множитель для реакции окисления в системе "пары мазута — воздух"  $E = 198$  кДж/моль,  $k_0 = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ ; температура плавления стальной частицы  $T_c = 1400$  К; тепловой эффект реакции окисления паров мазута в воздухе  $Q_o = 43,8$  МДж/кг; тепловой эффект кристаллизации стальной частицы  $Q_c = 205$  кДж/кг; тепловой эффект испарения мазута  $Q_s = 210$  кДж/кг. Теплофизические характеристики мазута, его паров, воздуха, паров воды, стальной частицы в зависимости от температуры приведены в работах [11–13].

Как показывают результаты исследований, опубликованных в работах [8, 9], основным параметром, определяющим реализацию условий воспламенения при взаимодействии разогретых до высоких температур частиц малых размеров с горючими жидкостями, является теплосодержание источников энергии. Для анализа масштабов влияния этого фактора на характеристики зажигания пленки мазута стальной частицей в рассматриваемой постановке варьировались начальная температура ( $T_p$ ) и размеры ( $r_1, z_2$ ) источника нагрева. В качестве исследуемой характеристики выбрано время задержки воспламенения  $t_d$ . Результаты представлены в табл. 1–3.

Из табл. 1 видно, что при повышении начальной температуры частицы инерционность зажигания существенно увеличивается (время задержки воспламенения нелинейно возрастает). Это объясняется нелинейной зависимостью скорости химического взаимодействия паров горючего с окислителем от температуры источника нагрева. Кроме того, дополнительная теплота помимо отведенной за счет кондуктивного и радиационного теплообмена частицы с пленкой мазута и парогазовой смесью поступает в зону химического реагирования вследствие кристаллизации материала частицы (при  $T_p > T_c$ ). Этим можно объяснить отчетливое увеличение величины  $t_d$  при повышении  $T_p$  в диапазоне  $1400 < T_p < 1500$  К. В то же время при дальнейшем увеличении  $T_p$  времена задержки воспламенения возрастают незначительно (менее 3 %). Это обусловлено тем, что при  $T_p > 1500$  К от частицы отводится такое количество теплоты, которого достаточно для зажигания мазута за малый интервал времени. Дальнейшее повышение энергетического запаса частицы приводит к тому, что увеличивается теплоотвод от нее. Зажигание происходит при меньших  $t_d$ , но несущественно отличающихся от прежних  $t_d$ . Частица медленнее остывает и ее

энергетический запас в меньшей степени расходуется на реализацию условий воспламенения. Можно сделать вывод о том, что существуют такие предельные температуры частиц, при превышении которых инерционность зажигания практически не меняется. В рассматриваемой постановке (см. рисунок) для пленки мазута и стальной частицы такой температурой является  $T_p \approx 1500$  К.

Анализируя данные табл. 1, необходимо отметить, что рассматриваемые процессы зажигания являются быстропротекающими (время задержки воспламенения в выбранном диапазоне  $T_p$  не превышает 0,2 с). Так как температура частиц, формирующихся при резке или сварке металлов в ходе ремонтных работ, может достигать 2000 К [4], то вероятность возгорания пленки мазута и быстрого формирования локального очага пожара при проведении в непосредственной близости огневых работ очень высока.

Следует также отметить, что в табл. 1–3 представлены предельные значения начальной температуры и размеров стальной частицы, при которых условия воспламенения не реализуются. Эти данные показывают, что при определенном теплосодержании частицы возможен контакт с пленкой мазута и без возгорания последней. Аналогичные предельные условия для бензина, керосина и дизельного топлива проанализированы в работах [8, 9]. Такие результаты весьма интересны при разработке специализированных систем, основанных на зажигании жидкостей источниками нагрева с конечным

Таблица 1

Время задержки воспламенения в системе "пленка мазута — стальная частица — воздух" в зависимости от начальной температуры источника зажигания при  $r_1 = z_2 = 0,003$  м

$T_p$ , К	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100
$t_d$ , с	0,0135	0,0136	0,0138	0,0412	0,1041	0,1632	Нет воспламенения

Таблица 2

Время задержки воспламенения в системе "пленка мазута — стальная частица — воздух" в зависимости от радиуса источника зажигания при  $T_p = 1300$  К,  $z_2 = 0,003$  м

$r_1$ , м	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
$t_d$ , с	0,0572	0,0617	0,0734	0,0823	0,1044	0,1435	Нет воспламенения

Таблица 3

Время задержки воспламенения в системе "пленка мазута — стальная частица — воздух" в зависимости от высоты источника зажигания при  $T_p = 1300$  К,  $r_1 = 0,003$  м

$z_2$ , м	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002
$t_d$ , с	0,0493	0,0529	0,0618	0,0731	0,1014	Нет воспламенения



энергетическим запасом. Тем не менее, при оценке пожарной опасности рассматриваемых процессов и выработке соответствующих рекомендаций они также важны.

Из табл. 2, 3 видно, что одинаковое изменение радиуса  $r_1$  и высоты  $z_2$  частицы приводит к различным изменениям времени задержки воспламенения  $t_d$ . Это обусловлено разными масштабами влияния этих параметров частицы на площадь контакта источника нагрева с пленкой жидкости и с парогазовой смесью. Так, например, при увеличении радиуса частицы увеличивается площадь ее контакта с пленкой топлива. Как следствие, возрастает доля энергии источника нагрева, отводимая в жидкость (расходуемая на нагрев и испарение горючей жидкости), увеличивается скорость остывания частицы. Оставшаяся теплота источника расходуется на разогрев парогазовой смеси. Так как в целом при увеличении радиуса частицы возрастает его теплосодержание, то инерционность зажигания уменьшается. Но за счет увеличивающегося теплоотвода в жидкость это уменьшение не является значимым (см. табл. 2).

При повышении же высоты частицы  $z_2$  снижение  $t_d$  (см. табл. 3) более масштабное, чем при варьировании  $r_1$  (см. табл. 2). Установленную закономерность можно объяснить увеличением доли энергии частицы, расходуемой на прогрев парогазовой смеси, с повышением  $z_2$ . При неизменном радиусе частицы и толщине пленки мазута  $z_1$  доля энергии, отводимая в топливо, практически не меняется с ростом  $z_2$ . Поэтому незначительно меняются массовая скорость испарения мазута вблизи границы "частица — жидкость" и концентрация паров горючего в области решения задачи (см. рисунок). Однако возрастает теплоотвод в парогазовую смесь. Это приводит к ускорению прогрева смеси и химического реагирования ее компонентов. Как следствие, время задержки воспламенения уменьшается более масштабно, чем при увеличении  $r_1$ .

Результаты настоящей работы, а также исследований [8, 9] показывают, что механизмы зажигания жидких топлив источниками нагрева с ограниченным теплосодержанием характеризуются рядом специфических особенностей, установить которые на традиционных моделях зажигания [10] невозможно. Среди таких особенностей необходимо выделить условия воспламенения, малые участки прогрева жидкости, большие градиенты температур и концентраций вблизи границ испарения, а также неравномерное остывание источника энергии.

Эти специфические особенности позволяют выработать рекомендации по предотвращению неконтролируемых возгораний жидкостей при проведении в непосредственной близости огневых работ. Во-первых, в помещении, в котором выполняются ремонтные работы, необходимо провести перво-

начальный осмотр с целью обнаружения потенциальных участков возгорания (например, лужи и пленки легковоспламеняющихся жидкостей). Во-вторых, обеспечить естественную и вынужденную вентиляцию этих помещений (скорость движения воздушных масс должна превышать 1 м/с). В-третьих, предусмотреть максимально возможное снижение температуры и повышение влажности воздуха.

Рекомендации по проведению ремонтных работ на резервуарах, используемых для хранения и транспортировки жидких топлив, приведены в работе [5].

Следует отметить, что перечисленные меры не всегда являются действенными при зажигании жидких и твердых топлив массивными источниками нагрева (например, разогретые металлические подложки). С целью повышения пожарной безопасности требуется не допускать возможный контакт жидкости с массивными нагретыми до высоких температур (более 1300 К) телами.

### Заключение

Выполненный анализ позволяет сделать вывод о том, что ремонтные работы, сопровождающиеся сваркой и резкой металлов, представляют высокую пожарную опасность на предприятиях различных отраслей промышленности, в частности на ТЭС, химических и нефтеперерабатывающих производствах.

Для повышения пожарной безопасности таких производств помимо соблюдения комплекса соответствующих правил и рекомендаций необходимы прогностические модели, подобные представленной в настоящей статье, при использовании которых возможна оценка пожарной опасности проведения тех или иных работ на определенном производственном участке.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-08-00366-а).*

### Список литературы

1. Стерман Л. С., Лавыгин В. М., Тишин С. Г. Тепловые и атомные электрические станции. — М.: Изд-во МЭИ, 2008. — 463 с.
2. Горшков В. И. Тушение пламени горючих жидкостей. — М.: Пожнаука, 2007. — 268 с.
3. Хрусталева В. А. Режимы работы и эксплуатации ТЭС. — Саратов, 2000. — 176 с.
4. Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов. — М.: Машиностроение, 1970. — 408 с.
5. Старков Н. Н., Злодеев В. Н. Пожарная опасность предремонтной подготовки резервуаров. Перспективы развития способов очистки резервуаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — № 4. — С. 45—47.
6. Бочкарев А. Н. Анализ инцидентов, связанных с пожарами в аэропортах, и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов воздушного транспорта // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — № 4. — С. 59—62.

7. Кузнецов Г. В., Мамонтов Г. Я., Таратушкина Г. В. Численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2004. — № 1. — С. 78—85.
8. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single "hot" particle // Journal of Engineering Thermophysics. — 2008. — № 3. — P. 244—252.
9. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Нагретые до высоких температур частицы металла, как источники локальных возгораний жидких веществ // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 72—76.
10. Vilyunov V. N., Zarko V. E. Ignition of Solids. — Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. — 442 p.
11. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник / Под ред. А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
12. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: ООО "Старс", 2006. — 720 с.
13. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
14. Щетинков Е. С. Физика горения газов. — М.: Наука, 1965. — 739 с.

УДК 629.4.063.2.001.25

**А. В. Мурадов**, д-р техн. наук, проф., **А. Т. Волохина**, асс.,  
**Е. В. Глебова**, канд. хим. наук, проф., **М. В. Иванова**, канд. техн. наук,  
 РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина  
 E-mail: alla\_volohina@mail.ru

## Аварийность магистральных газопроводов с учетом человеческого фактора

*В данной работе выполнен анализ аварийности и травматизма на объектах магистрального транспорта газа. Методом "дерево отказов" выполнена оценка частоты аварии на магистральном газопроводе с учетом профессиональной пригодности электрогазосварщиков. Показано, что частота аварийной разгерметизации газопровода при работе электрогазосварщиков с достаточно высокими и высокими оценками профессиональной пригодности снижается на 12 %.*

**Ключевые слова:** аварийность магистральных газопроводов, метод анализа риска "дерево отказов", профессиональная пригодность.

**Muradov A. V., Volokhina A. T., Glebova E. V., Ivanova M. V. Accident rate of the highway gas pipelines with the recognition of human factor**

*The analysis of accident rate and traumatism on the objects of highway transport of gas has been done in this work. By the method "the tree of refuses" the estimation of frequency of failure on the highway gas pipeline with the professional fitness of elektrogazwelder has been done. The frequency of the emergency razgermitizaciya of gas pipeline in the work of elektrogazwelder with the sufficiently high estimation of professional fitness (4 and 5) goes down on 12 %.*

**Keywords:** accident rate of the highway gas pipelines, the method of analysis of risk "the tree of refuses", professional fitness.

Проблема снижения аварийности объектов магистрального трубопроводного транспорта природного газа является важной и актуальной. Разрывы магистральных газопроводов (МГ) приводят к масштабным потерям природного газа, загрязнению окружающей среды, а в исключительных случаях и к человеческим жертвам.

Для выявления причин, влияющих на безопасность газотранспортных систем, был проведен анализ статистических данных аварийности и травматизма на магистральных газопроводах.

Согласно [1—12] за период 2000—2007 гг. на магистральных газопроводах произошло 214 аварий, 30 человек было смертельно травмировано (рис. 1).



Рис. 1. Динамика аварийности и травматизма со смертельным исходом на магистральных газопроводах



Таблица 1

Структура причин аварийности на объектах магистральных газопроводов за период 2000—2007 гг.

№ п/п	Классы причин аварий	Год							
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	Коррозия	17	14	17	15	10	14	8	7
	Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН)	14	12	15	14	8	13	7	7
	Наружная коррозия без учета КРН	3	2	2	1	2	1	1	—
2	Строительные дефекты (брак строительно-монтажных работ (СМР), в том числе брак сварки)	5	8	6	6	10	3	2	5
3	Обобщенная группа механических повреждений	7	6	5	5	7	3	7	3
	Случайное повреждение при эксплуатации	2	1	2	3	2	3	4	3
	Природное воздействие	3	2	1	1	—	—	—	—
	Террористические акты	2	3	2	1	5	—	3	—
4	Дефекты труб и оборудования заводской поставки	4	2	2	2	3	2	4	1
5	Прочие	—	1	2	—	—	1	—	—
	Всего:	33	31	32	28	30	23	21	16

При анализе причин аварийных отказов магистральных газопроводов необходимо учитывать, что, как правило, каждая авария является результатом сочетания целого ряда нежелательных событий, обусловленных причинно-следственными связями. Обычно надзорные органы в своих отчетах распределяют все аварии по видам в зависимости от основной причины. Это распределение аварий для объектов магистральных газопроводов представлено в табл. 1 и на рис. 2.

Из приведенных данных следует, что доминирующими причинами аварий являются: коррозионное разрушение газопроводов — 48 %; брак строительно-монтажных работ (СМР) — 21 %; обобщенная группа механических повреждений — 20 %, в которую входят случайные повреждения при эксплуатации трубопроводов (9 %), террористические акты (8 %), природные воздействия (3 %).

Рассмотрение структуры аварийности из-за брака СМР показало, что такие аварии по происхождению можно классифицировать по трем основным видам строительных нарушений: дефекты монтаж-

ных сварных швов и околошовной зоны — 40 %; механические повреждения в процессе строительства (задиры, царапины, вмятины) — 40 %; изменение проектных решений (расчетной схемы, шага опор, отсутствие гнутых отводов и т. п.) — 20 %.

Аварии из-за брака СМР происходят преимущественно на "старых" газопроводах в возрасте 30—40 и более лет. Учитывая, что большинство строительных дефектов, в основном, проявляется в период приработки газопроводов, т. е. в первые годы эксплуатации, можно с достаточной уверенностью полагать, что свой вклад в аварийность по этой причине вносят последующие некачественные ремонты.

Строительные дефекты (в том числе и дефекты сварки) обусловлены неправильными действиями как руководителей (отсутствие контроля за качеством выполняемых работ), так и рабочих, непосредственно занятых в процессе планового ремонта.

Таким образом, представляется возможность снизить аварийность по причине брака строительно-монтажных работ за счет повышения профессиональной пригодности рабочих, непосредственно занятых в процессе ремонта и технического обслуживания газопроводов, в первую очередь, электрогазосварщиков.

В качестве экспериментальной базы для проведения оценки профессиональной пригодности электрогазосварщиков использовалось предприятие ООО "Газпром трансгаз Самара".

На основании результатов тестирования 262 рабочих ООО "Газпром трансгаз Самара" с помощью экспертно-аналитического метода многомерного шкалирования была рассчитана интегральная оценка профессиональной пригодности, позволяющая ранжировать кандидатов по уровню развития профессионально важных качеств. Установлено, что рабочих ООО "Газпром трансгаз Самара" можно разделить на четыре категории: оценка 5 — 41 %, оценка 4 — 29 %, оценка 3 — 20 %, оценка 2 — 10 %.

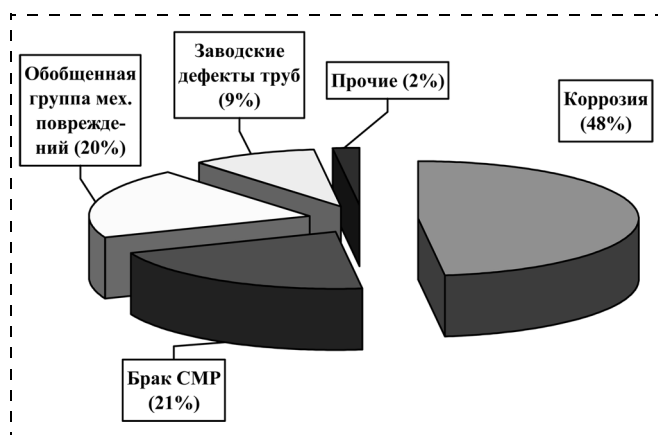


Рис. 2. Структура причин аварийности магистральных газопроводов за период 2000—2007 гг.

Полученная таким образом интегральная оценка профессиональной пригодности интерпретируется следующим образом:

2 — низкий уровень развития профессионально важных качеств (прогноз успешности деятельности по данной профессии неблагоприятный, не рекомендуется для приема на работу);

3 — средний уровень развития профессионально важных качеств (прогноз успешности деятельности по данной профессии неопределенный, рекомендуется условно);

4 — достаточно высокий уровень развития профессионально важных качеств (прогноз успешности деятельности по данной профессии благоприятный, рекомендуется для приема на работу);

5 — высокий уровень развития профессионально важных качеств (прогноз успешности деятельности по данной профессии благоприятный, рекомендуется для приема на работу в первую очередь).

Для количественного определения влияния ошибочных действий электрогазосварщика на частоту аварийной разгерметизации газопровода был ис-

пользован метод "дерево отказов". Структура "дерева отказов" включает одно нежелательное конечное событие (авария, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих первичных событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий).

"Дерево отказов" было построено с использованием результатов статистического анализа аварийности магистральных газопроводов за период 2000—2007 гг. (рис. 3). "Дерево отказов" отражает основные классы причин, непосредственно приводящие к аварии. Основываясь на опыте классификации причин аварий на российских газопроводах органами Ростехнадзора, число таких классов прием равным пяти (см. рис. 2).

Расчетная частота аварий на любом участке МГ рассчитывается как сумма частот разгерметизации по каждому из классов причин [13]:

$$F = \sum_{i=1}^S f_i \quad (1)$$

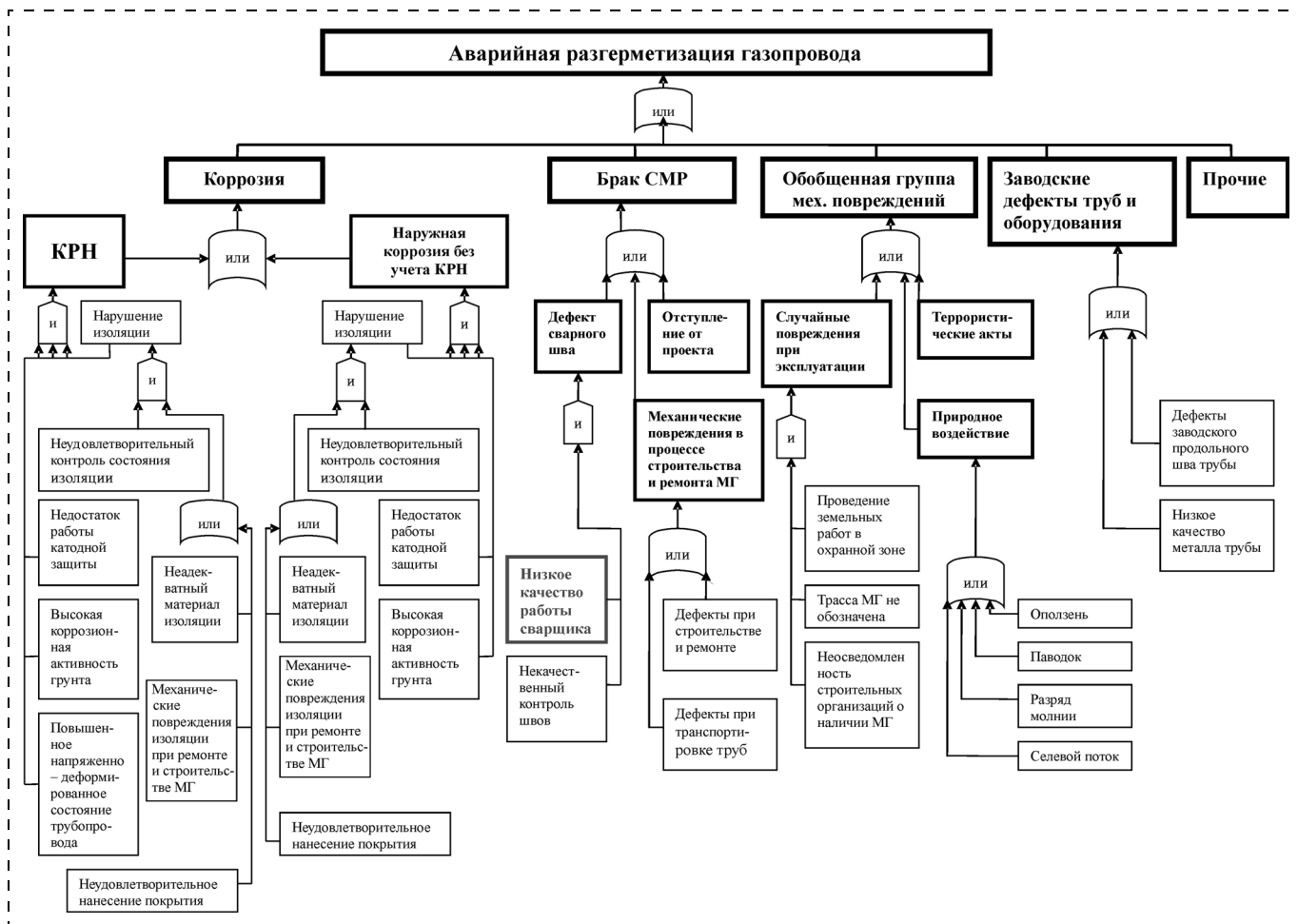


Рис. 3. "Дерево отказов" при аварийной разгерметизации газопровода



где  $f_i$  — частота разгерметизации по  $i$ -му классу причин;  $S$  — число классов причин разгерметизации (в данном случае  $S = 5$ ).

На основе данных о количестве аварий по каждому классу причин (см. табл. 1) и общей протяженности газопроводов за период 2000—2007 гг., были рассчитаны среднестатистические частоты аварийной разгерметизации МГ за указанный период. Рассчитанные частоты представлены в табл. 2. Причем расчет проводился для двух статистически различных групп — электрогазосварщики с оценками профессиональной пригодности 2, 3 и электрогазосварщики с оценками профессиональной пригодности 4, 5.

Экспериментально (по результатам неразрушающего и разрушающего контроля сварных швов, проводимого лабораторией рентгеногаммографии ООО "Газпром трансгаз Самара") установлено, что дефекты допускают рабочие с оценками 2 и 3. Брака сварки при работе электрогазосварщиков с оценками 4 и 5 выявлено не было.

В результате расчета получено, что частота аварийной разгерметизации газопровода при работе электрогазосварщиков с низкими и средними оцен-

ками профессиональной пригодности (2 и 3) равна  $1,72 \cdot 10^{-4}$ , а при работе электрогазосварщиков с достаточно высокими и высокими оценками профессиональной пригодности (4 и 5) —  $1,54 \cdot 10^{-4}$ .

Таким образом, частота аварий магистрального газопровода уменьшается на 12 % в случае работы электрогазосварщиков, чьи профессионально важные качества в полной мере соответствуют требованиям профессии.

#### Список литературы

1. **Государственный доклад** "О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации в 2002 году". — М.: НИЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2003. — 136 с.
2. **Государственный доклад** "О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации в 2003 году". — М.: НИР по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. — 134 с.
3. **Отчет** о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2004 году. — М.: НТЦ по безопасности в промышленности, 2005. — 384 с.
4. **Годовой отчет** о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2005 году. — М.: НТЦ по безопасности в промышленности, 2006. — 451 с.
5. **Годовой отчет** о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2006 году / Под ред. К. Б. Пуликовского. — М.: НТЦ центр по безопасности в промышленности, 2007. — 508 с.
6. **Годовой отчет** о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2007 году / Под общ. ред. К. Б. Пуликовского. — М.: НТЦ центр по безопасности в промышленности, 2008. — 548 с.
7. **Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте России: Учебное пособие** / Под ред. Б. Е. Прусенко, В. Ф. Мартынюка. — М.: ООО "Анализ опасностей", 2003. — 351 с.
8. **Иванов Е. А., Дадонов Ю. А., Мокроусов С. Н., Пашков Н. Е.** О техническом состоянии магистрального трубопроводного транспорта России // Безопасность труда в промышленности. — 2000. — № 9. — С. 34—37.
9. **Иванов Е. А., Мокроусов С. Н.** Обеспечение промышленной безопасности функционирования объектов магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. — 2001. — № 8. — С. 8—10.
10. **Мокроусов С. Н.** Пути повышения безопасности работы нефтегазового комплекса и систем магистрального трубопроводного транспорта // Безопасность труда в промышленности. — 2005. — № 1. — С. 43—45.
11. **Волохина А. Т., Карпова В. В., Мартынюк В. Ф., Прусенко Б. Е., Суворова В. В., Феоктистов А. А.** Анализ аварийности и травматизма на объектах систем газораспределения // Безопасность труда в промышленности. — 2006. — № 6. — С. 18—23.
12. **СТО РД Газпром 39-1.10-084—2003** Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО "Газпром". — М.: ОАО "Газпром", ООО "ВНИПИгаз", ООО "ИРЦ Газпром", 2003. — 315 с.
13. **Шавкин С. В., Черноплеков А. Н., Гостева А. В., Монахов Р. Е., Ляпин А. А.** Расчет частоты аварийной разгерметизации для количественного анализа риска современных магистральных газопроводов // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 3. — Приложение. — С. 2—24.

Таблица 2

Среднестатистические частоты аварийной разгерметизации газопроводов с учетом профессиональной пригодности рабочих (2000—2007 гг.)

Причина	Относительная доля аварий, вызванных данной причиной, %	Частота разгерметизации при работе электрогазосварщиков с оценками профессиональной пригодности (2 и 3)/(4 и 5)
Коррозия	48	$(8,21 \cdot 10^{-5}) / (8,21 \cdot 10^{-5})$
КРН	42	$(7,24 \cdot 10^{-5}) / (7,24 \cdot 10^{-5})$
Наружная коррозия без учета КРН	6	$(0,96 \cdot 10^{-5}) / (0,96 \cdot 10^{-5})$
Брак СМР	21	$(3,62 \cdot 10^{-5}) / (2,17 \cdot 10^{-5})$
Дефект сварки	8,4	$(1,45 \cdot 10^{-5}) / —$
Повреждения при строительстве и ремонте МГ	8,4	$(1,45 \cdot 10^{-5}) / (1,45 \cdot 10^{-5})$
Несоблюдение проекта	4,2	$(0,72 \cdot 10^{-5}) / (0,72 \cdot 10^{-5})$
Обобщенная группа механических повреждений	20	$(3,46 \cdot 10^{-5}) / (3,46 \cdot 10^{-5})$
Случайные повреждения при эксплуатации	9	$(1,61 \cdot 10^{-5}) / (1,61 \cdot 10^{-5})$
Природные воздействия	3	$(0,56 \cdot 10^{-5}) / (0,56 \cdot 10^{-5})$
Террористические акты	8	$(1,29 \cdot 10^{-5}) / (1,29 \cdot 10^{-5})$
Заводские дефекты труб	9	$(1,61 \cdot 10^{-5}) / (1,61 \cdot 10^{-5})$
Прочие	2	$(0,32 \cdot 10^{-5}) / (0,32 \cdot 10^{-5})$
Итого	100	$(1,72 \cdot 10^{-4}) / (1,54 \cdot 10^{-4})$



УДК 536.25:614.841

С. В. Пузач, д-р техн. наук, Е. С. Абакумов, Нгуен Тхань Хай,  
Академия ГПС МЧС России, Москва  
E-mail: aes7@rambler.ru

## Определение скорости опускания нижней границы припотолочного газового слоя при пожаре в атриуме

*Представлены результаты расчета динамики опускания нижней границы припотолочного газового слоя в модельном атриуме с использованием различных зонных подходов и полевой модели. Отмечено, что применение приближения неограниченной свободно-конвективной струи для описания параметров конвективной колонки не отражает реальную термогазодинамическую картину развития пожара (в первую очередь влияние перекрытия атриума) и может привести как к недооценке, так и к переоценке пожарной опасности атриумов.*

**Ключевые слова:** атриум, конвективная колонка, припотолочный газовый слой, тепломассообмен.

**Puzach S. V., Abakumov E. S., Nguyen Than Hai.** Definition of the lowering's rate of the bottom boundary of under-ceiling gas layer at fires in atriums

*The simulation results of descending dynamics of down boundary of gas underceiling layer during fire in model atrium are presented. There are used some zone and field mathematical models. It is remarked that non-boundary free convection approach is not reflected the real thermal and gas dynamics picture of fire in atrium. Above mentioned approach can lead to under- or overestimation of fire safety of atrium.*

**Keywords:** atrium, convective column, under ceiling gas layer, heat and mass transfer.

Метод организации искусственной среды невозможен без использования различных вариантов атриумных типов зданий. Атриумом называется часть здания в виде многосветного пространства, развитого по вертикали, как правило, с поэтажными галереями, балконами, на которые могут выходить помещения различного назначения.

Ввиду наличия больших внутренних объемов, неразделенных противопожарными преградами, пути эвакуации попадают в зону задымления, что создает угрозу безопасной эвакуации людей. Токсичные продукты горения достигнут своих критических значений в газовой среде за меньшее время, чем другие опасные факторы пожара, что характеризует пожарную опасность атриумов [1, 2].

Реальные физико-химические процессы, протекающие во время пожара в атриуме, являются сложными, нестационарными, трехмерными, экспериментально не изученными тепломассообменными процессами. Вопрос точности и надежности метода расчета тепломассообмена является ключевым в обеспечении безопасности людей, при выборе параметров и мест размещения датчиков систем пожаровзрывобезопасности, а также при проведении эффективных противопожарных мероприятий.

Скорость опускания припотолочного газового слоя определяется, в первую очередь, величиной массового расхода газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в вышеуказанный слой. При этом в качестве основного допущения принимается, что конвективная колонка над источником горения является неограниченной свободно-конвективной струей. Однако влияние перекрытия как показано в [3, 4] существенно и требует проведения дальнейших исследований.

### Зонная модель расчета тепломассообмена при пожаре

Используется трехзонная модель, в которой объем помещения разбит на зоны конвективной колонки I, припотолочного слоя II и холодного воздуха III (рис. 1) [5]. В отличие от метода расчета, используемого в работе [5], учтено, что нижняя граница припотолочного слоя может находиться ниже верхнего среза открытого проема. Аналогичный случай рассмотрен, например, в работе [6].

Принципиальная схема тепломассообмена в помещении для трехзонной модели в случае работы системы дымоудаления и приточной вентиляции имеет вид, показанный на рис. 1. Стрелками показаны направления течения газовой смеси и тепловые потоки. Обозначения на рис. 1:  $\Psi_r$  — массовая скорость газификации горючего материала, кг/(с · м<sup>2</sup>);  $G_a$ ,  $G_m$  — массовые расходы поступающего воздуха и вытекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы, кг/с;  $W_m$ ,  $W_a$  — объемные расходы системы дымоудаления и приточной вентиляции, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{пр}$  — тепловой поток,

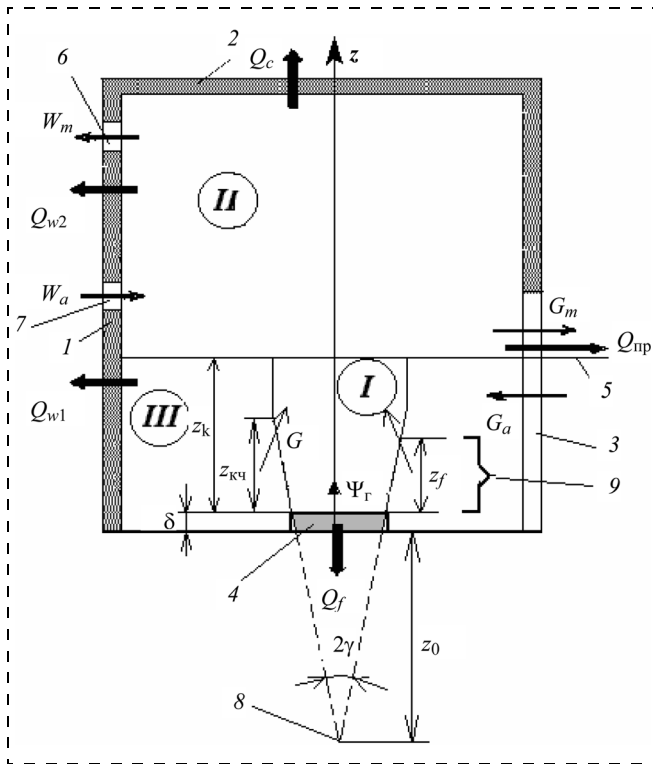


Рис. 1. Схема расчета тепломассообмена в помещении:

1 — стены; 2 — перекрытие; 3 — открытый проем; 4 — горючий материал; 5 — нейтральная плоскость (нижняя граница припотолочного слоя); 6 — система дымоудаления; 7 — система приточной вентиляции; 8 — точечный "фиктивный" источник теплоты; 9 — высота пламенной зоны; I — зона конвективной колонки; II — зона нагретого задымленного припотолочного слоя; III — зона холодного воздуха

излучаемый через открытые проемы наружу, Вт;  $Q_c$ ,  $Q_{w1}$ ,  $Q_{w2}$ ,  $Q_f$  — суммарные (конвекция и излучение) тепловые потоки, поступающие соответственно в потолок, стены (ниже и выше нижней границы припотолочного слоя) и пол, Вт.

Для определения массовых расходов и средних температур газовой смеси в поперечных сечениях конвективной колонки использованы два подхода:

— точечный источник тепловыделения находится ниже поверхности горючего материала (полуэмпирический метод расчета [5, 7]);

— распределенный источник тепловыделения находится выше поверхности горючего материала (эмпирический [8] и полуэмпирический метод расчета [3, 4]). При первом подходе [5, 7]:

$$G = 0,21 \left[ \frac{g\rho_0^2 Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{c_p T_0} \right]^{1/3} (z' + z_0)^{5/3}, \quad (1)$$

$$T = T_0 + \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{c_p G}, \quad (2)$$

где  $T$  — средняя температура в сечении конвективной колонки, К;  $G$  — массовый расход газов через поперечное сечение колонки, отстоящее по высоте от поверхности горения на расстоянии  $z'$  по оси  $z$ , кг/с;  $T_0$  — температура холодного воздуха в помещении, К;  $\rho_0$  — плотность холодного воздуха в помещении, кг/м<sup>3</sup>;  $c_p$  — удельная изобарная теплоемкость газа, Дж/(кг · К);  $\chi = Q_{w1}/Q_{\text{пож}}$  — доля, приходящаяся на поступающий в ограждения тепловой поток от выделившейся в очаге горения тепловой мощности;  $Q_{\text{пож}}$  — тепловая мощность, выделяющаяся в очаге горения, Вт;  $z_0$  — расстояние от фиктивного источника теплоты до поверхности горения, м.

При втором подходе массовый расход в сечении конвективной колонки в случае использования эмпирического метода определяется следующим образом [6]:

$$\text{при } z' > z_f: G = 0,071 \left( \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{1000} \right)^{1/3} z'^{5/3} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{\text{пож}}(1-\chi); \quad (3)$$

$$\text{при } z' \leq z_f: G = 0,032 \left( \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{1000} \right)^{3/5} z, \quad (4)$$

где  $z_f = 0,166 \left( \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{1000} \right)^{2/5}$  — высота пламенной зоны, м.

При использовании полуэмпирического метода [3, 4] массовый расход определяют из решения дифференциального уравнения:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{Bz(r + z\text{tg}\gamma)^4}{T_0 A G (G T_0 + Bz)} + \frac{2 G \text{tg}\gamma}{r + z\text{tg}\gamma} - \frac{B}{T_0} \left( 1 - \frac{2 z \text{tg}\gamma}{r + z\text{tg}\gamma} \right), \quad (5)$$

где  $A = \frac{T_0 R^2}{g\rho_0^2 \pi^2}$  — размерный параметр, с<sup>2</sup> · м<sup>5</sup>/(кг · К);

$B = \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{z_f c_p}$  — размерный параметр, кг · К/(м · с);

$\rho_0$  — давление наружного воздуха, Па, при  $z' = 0$ ;  $R$  — газовая постоянная воздуха, Дж/(кг · К);  $r$  — радиус поверхности горючего материала, м;  $\gamma$  — угол полураскрытия конвективной колонки, рад.

Средняя температура в сечении конвективной колонки определяется по формуле (2).

Высота нижней границы припотолочного слоя с учетом того, что коэффициент теплопотерь

$$\varphi = \frac{Q_{w1} + Q_{w2} + Q_c + Q_f}{Q_{\text{пож}}}$$
 находится из решения

обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя:

$$\frac{dz_k}{d\tau} = -\frac{G_k}{\rho_0 F_{\Pi}} - \frac{Q_{\text{пож}}(1-\varphi)}{c_p \rho_0 T_0 F_{\Pi}}, \quad (6)$$

где  $z_k$  — высота нижней границы припотолочного слоя, м;  $F_{\Pi}$  — площадь потолка, м<sup>2</sup>;  $G_k$  — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочную зону, кг/с.

Начальное условие (время  $\tau = 0$ ) имеет вид:

$$z_k = H - \delta,$$

где  $H$  — высота помещения, м;  $\delta$  — толщина горючего материала, м.

Уравнение (6) решается численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности.

Среднеобъемную температуру и плотность в припотолочном слое находят из решений дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа соответственно:

$$V \frac{d\rho_2}{d\tau} = G_k - G_m, \quad (7)$$

$$p_2 \approx p_0 = \rho_2 R T_2, \quad (8)$$

где  $V$  — объем атриума, м<sup>3</sup>;  $p_2$  — давление в зоне II, Па;  $\rho_2$  — среднеобъемная плотность в припотолочном слое, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  — газовая постоянная (принимается, что газовые постоянные воздуха и смеси продуктов горения и воздуха равны [5]), Дж/(кг · К);  $T_2$  — среднеобъемная температура в припотолочном слое, К.

### Полевая (дифференциальная) модель расчета теплообмена

Используется полевой метод расчета динамики опасных факторов пожара, разработанный в работе [9]. При этом методе определяются поля температур, скоростей, давлений, концентраций компонентов газовой среды и частиц дыма по всему объему помещения. Решаются трехмерные нестационарные дифференциальные уравнения Рейнольдса.

Обобщенное дифференциальное уравнение имеет вид [10]:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho \Phi) + \text{div}(\rho w \Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi) + S, \quad (9)$$

где  $\tau$  — время, с;  $\rho$  — плотность газовой смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  — скорость газовой смеси, м/с;  $\Phi$  — зависимая переменная (энтальпия газовой смеси, проекции скорости на координатные оси, концентрации компонентов газовой смеси (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, продукты газификации горючего материала), оптическая плотность дыма, кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации);  $\Gamma$  — коэффициент диффузии для  $\Phi$ ;  $S$  — источниковый член, учитывающий процессы горения и лучистого теплопереноса.

Лучистый теплоперенос определяется с помощью метода моментов (диффузионная модель). Радиационная составляющая источникового члена в уравнении энергии определяется следующим образом:

$$S_r = -\frac{4\pi}{3} \left( \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right), \quad (10)$$

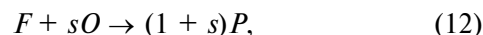
где  $I$  — интенсивность излучения (Вт/м<sup>2</sup>), ее находят из решения уравнения:

$$\frac{1}{\beta} \left( \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} \right) = 3\xi(I - I_b), \quad (11)$$

где  $x, y, z$  — координаты вдоль длины, ширины и высоты помещения соответственно, м;  $\beta$  — интегральный коэффициент ослабления излучения, 1/м;  $\xi$  — интегральный коэффициент излучения, 1/м;  $I_b = \sigma T^4$  — интенсивность излучения абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  — постоянная излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $T$  — температура, К.

Локальные значения коэффициентов излучения и поглощения радиационной энергии определяются с помощью локальных величин оптической плотности дыма [9].

Реакция горения рассматривается как одноступенчатая и необратимая:



где  $F, O, P$  — соответственно, продукты газификации горючего материала, окислитель (кислород воздуха) и продукты реакции соответственно;  $s$  — коэффициент.

Скорость реакции (12) с учетом влияния на нее турбулентности (диффузионно-вихревая модель) равна:

$$G_r = \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left\{ 4X_{pb}; 4\frac{X_o}{s}; 2\frac{X_{pg}}{s+1} \right\}, \quad (13)$$

где  $G_r$  — массовая скорость реакции в единице объема газовой среды, кг/(с · м<sup>3</sup>);  $\varepsilon$  — скорость диссипации кинетической энергии турбулентно-



сти,  $\text{м}^2/\text{с}^3$ ;  $k$  — кинетическая энергия турбулентности,  $\text{м}^2/\text{с}^2$ ;  $X_{pb}$ ,  $X_o$ ,  $X_{pg}$  — массовая концентрация продуктов горения, кислорода и продуктов газификации горючего материала соответственно.

Начальные и граничные условия подробно приведены в работе [9].

Уравнения (9) и (11) решаются методом контрольных объемов [10] по неявной конечно-разностной схеме на равномерной шахматной сетке.

### Результаты численного эксперимента и их анализ

В работе [11] представлен обзор результатов полномасштабных экспериментов по определению высоты нижней границы припотолочного газового слоя,  $z_k$  (высота незадымляемой зоны) и его среднеобъемной температуры в высоких помещениях (высота больше 6 м) при свободном развитии пожара.

На рис. 2 представлены соответственно расчетные и экспериментальные [11] зависимости высоты нижней границы припотолочного газового слоя (высота незадымляемой зоны) и его среднеобъемной температуры от времени в условно герметичном помещении размерами  $30 \times 24 \times 26,3$  м при тепловой мощности  $Q_{\text{пож}} = 1,3$  МВт.

В случае применения полевой модели использовалась равномерная конечно-разностная сетка размерами  $61 \times 49 \times 54$  точек. При этом положение нижней границы припотолочного слоя определялось из условия равенства повышения температуры  $N = 15\%$  и  $N = 30\%$  от максимального повышения температуры в вышеуказанном слое (правило  $N$  процентов [11]). За высоту нижней границы припотолочного слоя в этом правиле принимается высота, на которой повышение температуры от начальной до текущей на данной высоте равно  $N\%$  от разности между максимальной температурой припотолочного слоя и начальной температуры.

Характерные распределения массовых расходов, средних в сечениях конвективной колонки, по высоте помещения, показаны на рис. 3.

На рис. 4 приведены зависимости от времени с начала горения высоты от уровня пола раскрывающейся конической части конвективной колонки ( $z_{\text{кч}}$ ), полученная с использованием полевой модели в результате анализа полей скоростей в продольном и поперечном сечении атриума. Здесь же представлено распределение по времени значения высоты от пола, начиная с которой массовый расход по сечению колонки перестает увеличиваться. Характерные поля температур,  $^{\circ}\text{C}$ , и скоростей,  $\text{м}/\text{с}$ , а также схемы течения в продольном сечении атриума, про-

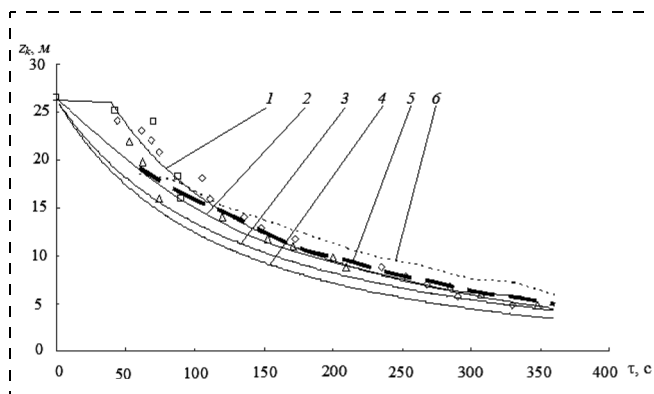


Рис. 2. Зависимости высоты нижней границы припотолочного слоя  $z_k$  от времени:

1 — уравнение (5); 2 — аппроксимация [11]; 3 — формулы (3) и (4); 4 — формула (1); 5 — полевая модель ( $N = 15\%$ ); 6 — полевая модель ( $N = 30\%$ ); символы ( $\square$  — по температуре,  $\diamond$  — по плотности,  $\triangle$  — по оптической плотности дыма) — эксперимент [11]

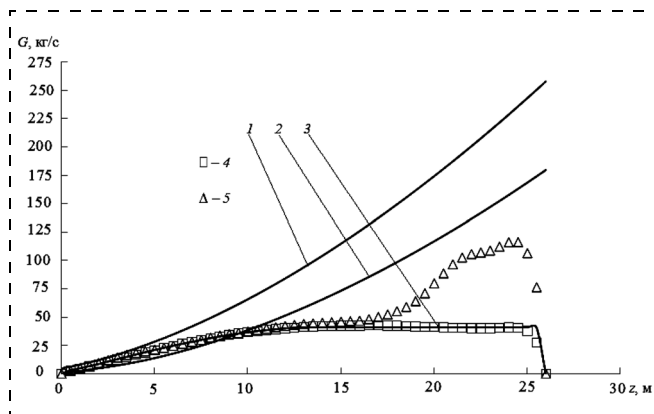


Рис. 3. Распределения массовых расходов  $G$  по высоте атриума:

1 — формула (1); 2 — формулы (3) и (4); 3 — уравнение (5); численный эксперимент (через 360 с); 4 — по поперечному сечению конвективной колонки; 5 — по всему поперечному сечению атриума, параллельного полу

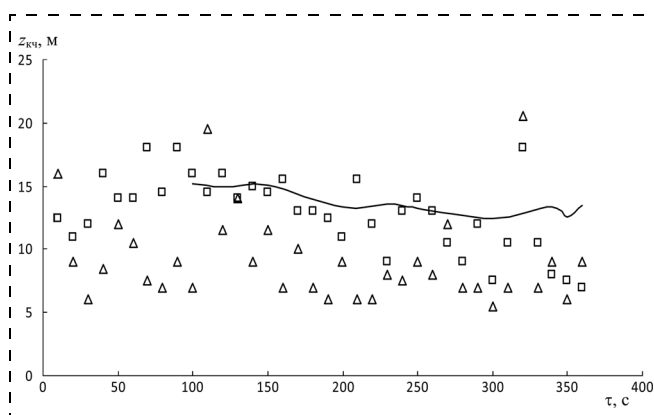


Рис. 4. Зависимость от времени с начала горения высоты от уровня пола раскрывающейся конической части конвективной колонки  $z_{\text{кч}}$ , полученная с использованием полевой модели:

$\square$  — максимальные значения  $z_{\text{кч}}$ ;  $\triangle$  — минимальные значения  $z_{\text{кч}}$ ; линия — значения  $z_{\text{кч}}$  при постоянном массовом расходе

ходящем через источник горения, через 180 с от начала пожара показаны на рис. 5. На рис. 6 приведены поля скорости и температур в сечении атриума, параллельном полу и отстоящем от него на высоте 26 м, через 120 с.

Из рис. 2 видно, что при использовании формул (1), (3) и (4), в которых определяется расход  $G_k$ , входящий в уравнение (6) для определения  $z_k$  (кривые 2, 3, 4) существенно, особенно на начальной стадии пожара (до 50 с от начала горения) завышается скорость опускания нижней границы припотолочного слоя по сравнению с экспериментальными данными. Погрешность определения высоты нижней границы слоя в этом случае достигает 38 %. При этом в соответствии с уравнением (2) температуры газовой смеси по сечению колонки из-за большего значения расходов будут всегда меньше, чем в эксперименте. Это приведет к недооценке

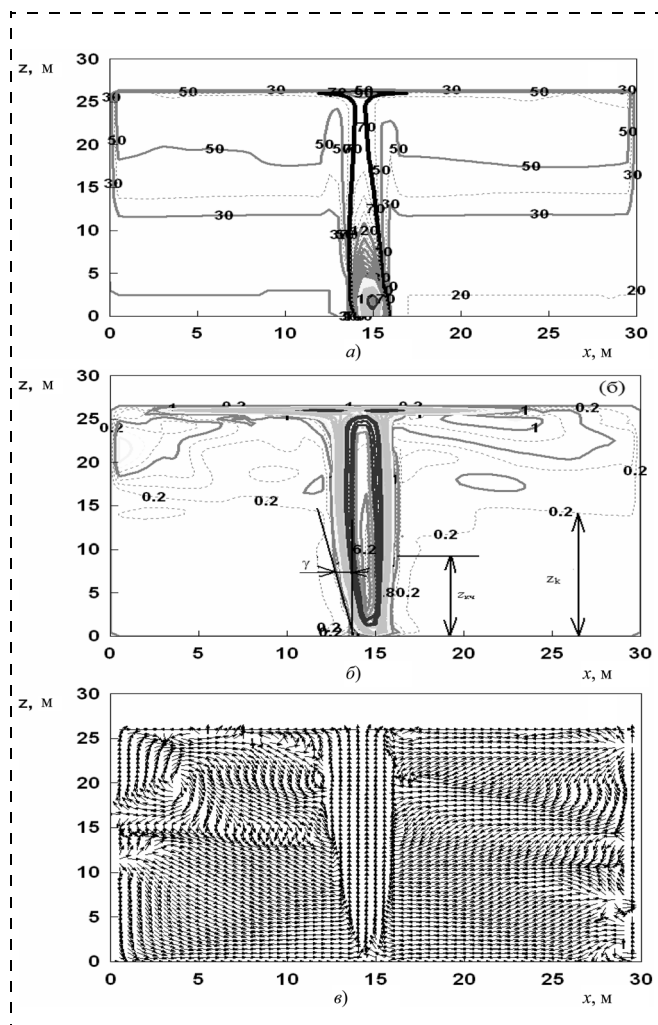


Рис. 5. Поля температур (а) и скоростей (б), а также схемы течения (в) в продольном сечении атриума, проходящем через источник горения, через 180 с от начала пожара

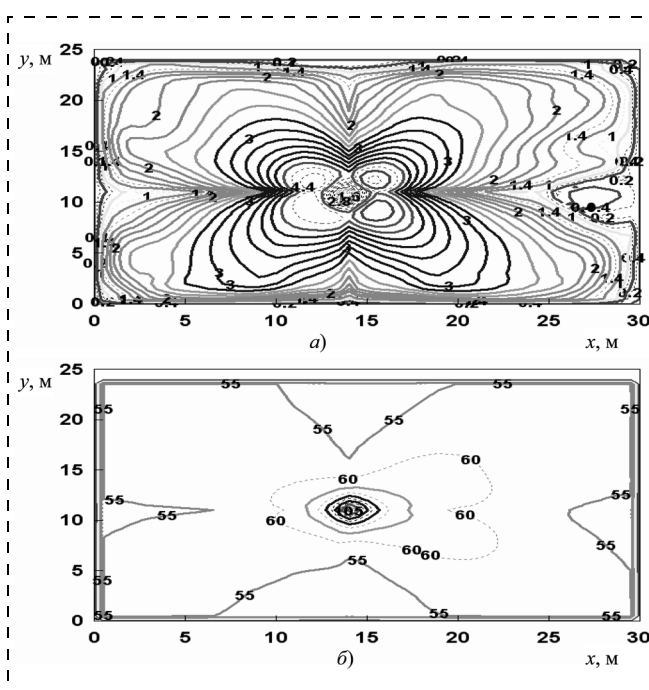


Рис. 6. Поля скорости и температур в сечении атриума, параллельном полу (а) и отстоящем от него на высоте 26 м (б), через 120 с от начала пожара

пожарной опасности, так как температура припотолочного газового слоя будет соответственно заниженной.

Уравнение (5), в котором угол полуоткрытия конвективной колонки  $\gamma$  определяется с использованием полученных в результате расчета по полевой модели высоты конической части колонки (см. рис. 4), а также формы конвективной колонки (рис. 5, б), качественно правильно отражает динамику опускания слоя на всех стадиях пожара. При определении высоты нижней границы припотолочного слоя с использованием уравнения (5), результаты расчета (кривая 1, см. рис. 2) показывают погрешность относительно экспериментальных данных не более 25 %.

Разница между величинами расходов, определенными с использованием дифференциального уравнения (5) (кривая 3, см. рис. 3) и полевой модели (символы  $\square$ , см. рис. 3), не превышает 3 %.

Формулы (1), (3) и (4) качественно и количественно правильно отражают термогазодинамическую картину пожара до высоты порядка 5...10 м (см. рис. 3). При  $z > 10$  м отношение величин расходов газа, полученных с использованием одной из вышеуказанных формул, к величине, определенной по полевой модели, может достигать значений 4,4...6,4 при рассмотренных исходных данных.



Таким образом, использование приближения неограниченной свободной конвекции при пожаре в атриуме корректно только в нижней части конвективной колонки (в рассмотренном примере при  $\bar{z} < 0,4$ , где  $\bar{z} = z/H$  — относительная координата по высоте поперечного сечения колонки, м).

Необходимо отметить, что вне области колонки в верхней части атриума внутри припотолочного слоя существуют области, где движение газовой смеси имеет проекцию скорости, направленную вверх (см. рис. 5, в) и рис. 3 (символы  $\Delta$ )).

### Выводы

При использовании зонного подхода к моделированию динамики опускания высоты нижней границы припотолочного газового слоя в атриумах необходимо учитывать форму конвективной колонки, образующейся над источником горения.

Использование приближения неограниченной свободно-конвективной струи для описания параметров конвективной колонки не отражает реальную термогазодинамическую картину развития пожара и может привести как к недооценке, так и переоценке пожарной опасности атриумов.

Уравнение (5) требует уточнения, учитывающего влияние ограждающих конструкций помещения (свободная конвекция в ограниченном объеме) и потерь на турбулентное и ламинарное трение, и соответственно дополнительных численных исследований с использованием полевой модели [9] или проведения физического эксперимента.

### Список литературы

1. Пузач С. В. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах / С. В. Пузач, А. В. Смагин, О. С. Лебеденко, Е. С. Абакумов. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
2. Gary D. Loughheed. Smoke hazards from fires in high places / Gary D. Loughheed, George V. Hadjisophocleous // ASHRAE Journal. — 2001. — V. 43, № 6. — P. 34–46.
3. Пузач С. В. Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в атриуме / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов // Инженерно-физический журнал. — 2007. — Т. 80, № 2. — С. 84–89.
4. Пузач С. В. Модифицированная зонная модель расчета теплообмена при пожаре в атриуме / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 53–57.
5. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю. А. Кошмаров. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 188 с.
6. Присадков В. И. Численные методы исследования пожарной опасности атриумов / В. И. Присадков, В. В. Лицкевич, А. В. Федоринов // Пожарная безопасность. — 2002. — № 2. — С. 45–52.
7. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздел.; пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1988. — 424 с.
8. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. — 2005. — 57 p.
9. Пузач С. В. Методы расчета теплообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С. В. Пузач. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
10. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 152 с.
11. Matsuyama K. Closed-form Equations for Room Smoke Filling during an Initial Fire / K. Matsuyama, Y. Misawa, T. Wakamatsu // Fire Science and Technology. — 1999. — V. 19, N 1. — P. 27–38.

## ИНФОРМАЦИЯ

### Международная выставка "Охрана труда в энергетике—2010"

13 по 16 апреля 2010 года

Москва, ВВЦ, Выставочный павильон № 55 "Электрификация"

Выставка ознакомит руководителей и специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области охраны труда, представит новые технологии и технику, исключая производственный травматизм и профессиональную заболеваемость.

**Тематика выставки:** защитные средства для работы персонала электрических станций и сетей; разработки, направленные на улучшение условий труда и повышение безопасности труда работников электроэнергетики; средства индивидуальной и коллективной защиты персонала от воздействия вредных и опасных факторов; совершенствование системы управления охраной труда и др.

#### Контакты:

Тел. 8 (499) 181-52-02, доб. 118. Факс 8 (499) 760-27-30

Моб. 8915-378-56-89

e-mail: bukreev@expo-elektra.ru

www.expo-elektra.ru

УДК 378:614

**О. И. Лаптева**, канд. психол. наук., доц.,  
Сибирская академия государственной службы, г. Новосибирск  
E-mail: lapteva\_r@rambler.ru

## Формирование компетенций интерактивными методами обучения на занятиях безопасности жизнедеятельности в вузе

*Описан опыт формирования компетенций интерактивными методами обучения на занятиях безопасности жизнедеятельности в вузе.*

**Ключевые слова:** компетентностный подход, компетенции, интерактивные методы обучения.

**Lapteva O. I.** *The forming of competences by interactive methods of training at life safety lessons in higher educational institution*

*An experience of forming competences in the higher school by using interactive methodology of training at life safety lessons is described in higher educational institution.*

**Keywords:** competence approach, competences, interactive methods of training.

Современное развитие общества выдвигает определенные требования к специалисту. У выпускников вуза как будущих руководителей и организаторов различных видов деятельности должны быть сформированы профессиональные и личностные компетенции.

В этой связи имеет место ориентация проведения занятий по безопасности жизнедеятельности на формирование общенаучных компетенций (приобретение новых знаний, продуцирование новых идей, совершенствование и развитие интеллектуального и общекультурного уровня); инструментальных компетенций (применение навыков работы информации из различных источников); социально-личностных и общекультурных компетенций (выстраивание и реализация перспективных линий интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, проявление настойчивости в достижении цели, критическое переосмысление накопленного опыта, проявление толерантности); общепрофессиональные компетенции.

Внедрение в учебный процесс компетентностного подхода позволяет решать задачи, связанные с формированием у студентов способности и го-

товности действовать в конкретных условиях, и предполагает использование интерактивных технологий обучения.

Концепции интерактивного обучения объединяют следующие формулировки:

- ✓ учебная деятельность в вузе есть активная деятельность самого студента, где преподаватель выступает в роли ее организатора;
- ✓ предметом и результатом учебной деятельности является сам субъект деятельности (студент), который подвергается (как предмет) преобразованию благодаря деятельности и который в конце обучения предстает в измененном виде (как результат учебной деятельности);
- ✓ основным показателем успешной учебной деятельности является умение обучаемого мыслить, творчески решать познавательные и практические задачи, свободно и самостоятельно ориентироваться в научных и практических проблемах;
- ✓ процесс учебной деятельности есть действия студента по решению задач во внешнем предметном плане с постепенным переносом этих действий во внутренний, умственный план, т. е. превращение их в его собственные компетенции.

Исходя из этих формулировок, определим основные требования к методике интерактивного обучения на занятиях по безопасности жизнедеятельности.

1. Методы и приемы обучения должны стимулировать активную познавательную, особенно мыслительную, деятельность студента.

2. Контроль и оценка результатов обучения должны проводиться не по формальным и случайным показателям, таким, как умение обучаемого воспроизводить заученные знания, а по умению использовать знания при анализе и оценке реальных явлений, объяснению которых служат эти знания.

3. Обучение не должно сводиться к сообщению научных знаний в готовых ("книжных") формулировках для пассивного восприятия и непосредственного запоминания их студентами, а представ-



лять учебные задачи, которые студенты должны научиться решать.

4. Наиболее действенной является методика обучения, которая объединяет в единое образовательное действие процесс усвоения знаний и процесс приобретения умения практического использования этих знаний. Благодаря этому компетенции оказываются усвоенными как результат их практического применения.

Таким образом, методика обучения может быть эффективной тогда, когда она строится на методах и приемах, активизирующих деятельность студента.

Рассмотрим особенности использования интерактивных методов обучения на занятиях по безопасности жизнедеятельности. При воздействии этих методов на интеллектуальную активность студента проявляются условия взаимодействия, когда сообща происходит поиск истины, когда любая высказанная мысль способна произвольно вызвать собственную, аналогичную или близкую к высказанной или, наоборот, противоположную.

Интерактивные методы эффективны как при обучении, так и при воспитании студента. Преподаватель как субъект образовательного процесса влияет на обсуждение, не только высказывая научно аргументированную точку зрения, но и показывая личностное отношение к проблеме, свою мировоззренческую и нравственную позиции.

При использовании интерактивных методов обучения создается обстановка совместной творческой деятельности преподавателя и студентов, где идет процесс взаимодействия личностей, а не только процесс поиска знаний, где преподаватель учит мыслить, а не думает вместо студентов. На занятиях по безопасности жизнедеятельности эффективно использование таких интерактивных методов обучения как эвристическая беседа, метод дискуссии, метод "мозговая атака", метод "круглый стол", метод ситуационно-ролевой игры, тренинг и др.

Кратко рассмотрим возможности перечисленных методов.

*Эвристическая беседа.* Путем искусно сформулированных наводящих вопросов и примеров эвристическая беседа мотивирует студентов самостоятельно искать правильный ответ на поставленный вопрос. Получение ответов от студентов происходит через активизацию их мышления посредством грамотно поставленных вопросов. По своей природе эвристическая беседа — это коллективное мышление или беседа как поиск ответа на проблему.

*Дискуссия* представляет собой специально запрограммированное свободное обсуждение теоретических вопросов. Если сообщения и доклады студентов подкреплены убедительной статистикой

и реальными примерами, то они обычно вызывают интерес у аудитории. По поводу возможного изменения представленной проблемной ситуации высказываются несколько студентов.

Эти высказывания свидетельствуют о том, что возникает потребность в проблемном задании, при определении которого преподавателю необходимо соблюдать определенные условия. Ниже перечислены некоторые из них.

1. Предлагаемое задание должно соответствовать интеллектуальным возможностям студентов: быть достаточно трудным, но разрешимым.

2. При предъявлении проблемного задания преподаватель должен учитывать реальный уровень знаний обучаемых.

3. Вопрос задания будет для студента проблемным только в том случае, когда он совпадает с вопросом, возникшим у него самого.

4. Если студенты не в состоянии выполнить задание, т. е. они не могут теоретически объяснить факты или не осознают потребность в новом знании или способе действий, то преподаватель должен сформулировать и зафиксировать возникшие трудности, указать причины и приступить к объяснению учебного материала, необходимого для решения проблемного задания. Таким образом, благодаря предпосланной проблемной ситуации студенты поняли, что старые знания не позволяют ответить на возникшие вопросы и осознают потребность в новых знаниях.

От стадии создания проблемной ситуации деятельность преподавателя переходит в стадию управления процессом усвоения знаний студентами, которая предполагает следующее:

- ✓ объяснение учебного материала должно следовать за вопросами студентов, возникшими у них в проблемной ситуации, и тем самым удовлетворять вызванную этими вопросами потребность в новом знании, отвечать познавательному интересу, ставшему мотивом их учебной деятельности;
- ✓ при изложении учебного материала преподаватель должен учитывать уровень знаний обучаемых: а) если студенты силой собственного мышления сумели в основном решить проблему, то нет необходимости раскрывать то, что они усвоили; б) если студентам не удалось решить проблему или они пришли к неверному решению, или полученный ими ответ не совсем точен, то и в этом случае проблемная ситуация сыграла положительную роль, вызвав у обучаемых потребность в знаниях и готовность слушать объяснение преподавателя; в) если проблемное задание окажется очень трудным для данной группы



студентов, то оно может быть расчленено на ряд частных проблемных заданий, чтобы решение каждого из них стало доступным для группы.

При постановке некоторых вопросов дискуссия не получается. Суть кроется в самой постановке вопроса дискуссионного характера, который заставляет студентов задуматься, прийти к выводу о своей неподготовленности и настроиться на изучение научной литературы, а при изучении литературы дискуссионный вопрос приучает студента критически воспринимать любую информацию, отучает от привычки брать на веру и, не размышляя, заучивать книжный текст.

Дискуссионный вопрос решает основную из педагогических задач: учит человека мыслить. Поэтому он уместен даже там, где сама дискуссия как словесный спор может и не состояться.

Эффективность метода дискуссии измеряется тем, насколько удалось активизировать студентов и в какой мере это повысило качество обучения, вызвало интерес к изучаемым вопросам и желание еще глубже вникнуть в суть в процессе дальнейшей самостоятельной работы. Таким образом, дискуссия свидетельствует о порождении новых мыслей, развивает мышление и формирует компетенции.

*Метод "мозговая атака".* Суть этого метода заключается в поиске ответа на сложную проблему посредством интенсивных высказываний всевозможных приходящих в голову идей, догадок, предположений, случайных аналогий, а также спонтанно возникающих у студентов ассоциаций.

Золотое правило "мозговой атаки" — ничего из произнесенного участниками разговора не подвергать сомнению, не критиковать, а обеспечить полную свободу высказывания любых идей. Такая свобода позволяет студентам вести себя раскованно, не стесняться "глупых" мыслей, не бояться ставить себя в неловкое положение неудачной репликой, показаться смешным и т. д. В такой обстановке рождаются самые невероятные идеи, многие из которых иногда никуда не годятся (по крайней мере для решения данной проблемы), но неожиданно возникает то, что надо.

Бывает, что студенты приходят к выводу со знаком "минус", и это нормально, так как происходит настрой на серьезный анализ своих компетенций. Ради этого и проводится "мозговая атака".

*Метод "круглый стол".* В обучении этот метод используется для повышения эффективности усвоения теоретических проблем путем рассмотрения их в разных научных аспектах, анализа мнения специалистов разного профиля.

Подготовка к "круглому столу" обычно занимает три-четыре недели. Студенты изучают материалы

периодической печати, знакомятся с мнениями разных специалистов по выбранной проблеме. На занятии обсуждение вопросов происходит активно. Каждый высказывает свое мнение относительно информации, изложенной в статьях, критикуя или соглашаясь с позицией авторов — экологов, социологов, философов, педагогов, психологов и др. Глубина усвоения знаний, приобретенных на "круглом столе" подтверждается в дальнейшем на занятиях. Какой бы новый вопрос ни ставился, ситуации и примеры, разобранные на предшествующем "круглом столе", студенты удачно приспособляют к иллюстрации новых размышлений.

При использовании метода "круглый стол" необходимо соблюдать важное условие — это осознание необходимости рассмотрения теоретической проблемы с разных позиций и точек зрения на ее практическое воплощение в жизнь.

*Метод ситуационно-ролевой игры.* Суть этого метода заключается в учебном моделировании ситуаций. Студент оказывается в ситуации реальных действий в роли определенного действующего лица, что заставляет его мыслить конкретно и предметно, с осознаваемой целью достичь реально осязаемого результата. Это обстоятельство обостряет внимание обучаемого, делает более целеустремленным его мышление, и, следовательно, способствует лучшему усвоению.

*Тренинг* — еще один из методов интерактивного обучения. Формируемые в ходе тренинга компетентности помогают личности избежать опасных ситуаций, а в случае их возникновения найти оптимальный выход. Особая роль при этом принадлежит умению грамотно общаться. Общение и безопасность взаимосвязаны. С одной стороны, отсутствие культуры безопасного поведения (при техногенных авариях, катастрофах) может приводить к возникновению посттравматического синдрома, и существенно влиять на общение, проявляясь в ряде эффектов (например, в массовых страхах). С другой стороны, общение играет значительную роль в обеспечении безопасности: это, в первую очередь, доверительное общение, все виды делового общения. Часть упражнений в тренинге направлена на формирование и осознание ресурсов личности: представление о себе — "Я — концепция", самоуважение, самооценочность; когнитивные процессы — понимание, осмысление происходящего; ответственность за собственную жизнь; умение понимать окружающих и сопереживать им; коммуникативная социальная компетентность; восприятие и оказание социальной поддержки. Развитие этих навыков способствует преодолению стрессов.



Основная идея заданий и упражнений заключается в том, что человек, осознающий личностные и средовые ресурсы, а также имеющий поведенческие навыки разрешения проблем, оказывается более защищенным перед жизненными трудностями. Личностная безопасность всегда связана с социально-психологической компетентностью субъекта, и с умением разрешать конфликты, избегать рискованных связей и, конечно же, вести здоровый образ жизни. Тренинг позволяет повысить социально-психологическую компетентность студента, которая, в свою очередь, ограждает его от обмана, мошенничества, манипуляций и насилия.

Проведение тренинга требует от преподавателя большой подготовительной работы, как и при других формах групповых занятий. Подготовка включает: 1) работу над планом-сценарием тренинга; 2) работу по настрою студентов на активное участие в решении проблемы, выносимой на тренинг (это делается посредством заблаговременно вручаемых студентам вопросов-проблем по изучаемой теме); 3) самоподготовку преподавателя (он продумывает свое поведение на тренинге: как ставить вопросы, как реагировать на ответы или реплики, на спорные ситуации; драматизировать ситуацию спора или соглашаться с одной из спорящих сторон; высказываться самому или требовать высказывания вариантов решения участников группы; как реагировать на явно неверные решения; как и когда делать обобщающие выводы; за что и как оценивать активность студентов в ходе тренинга и т. д.); 4) работу по распределению ролей между участниками.

В заключение отметим, что в практике преподавания безопасности жизнедеятельности интерак-

тивные методы обучения могут использоваться как самостоятельно, так и фрагментарно, и их элементы могут быть "вкраплены" в разных долях в разные формы занятий. Возможно, что несколько разных методов будут эффективно взаимодействовать на одном и том же занятии. Использование интерактивных методов зависит от преподавателя и научной значимости содержания изучаемых тем, на самостоятельном осмыслении которых строится стремление формировать мировоззрение и культуру безопасного поведения студента.

Интерактивные методы обучения позволяют создать обстановку, в которой взаимоотношения субъектов обучения (преподавателя и студента) придут учебным занятиям воспитательный, активный познавательный характер и превращают их в процесс формирования общепрофессиональных, общенаучных, инструментальных, социально-личностных и общекультурных компетенций.

#### Список литературы

1. **Воровщиков С. Г.** Компетентностный подход в образовании // *Философия образования*. — 2007. — № 2. — С. 27—31.
2. **Куприянова Л.** Педагогическое мастерство: принципы оценки // *Высшее образование в России*. — 2003. — № 1. — С. 78—80.
3. **Мартынова М. Д.** Инновации в работе со студенческой молодежью // *Унив. упр.* — 2008. — № 2. — С. 85—88.
4. **Митина А.** Рефлексивно-игровая технология обучения // *Высшее образование в России*. — 2003. — № 4. — С. 88—90.
5. **Пидкасистый П. И.** Организация учебно-познавательной деятельности студентов: учебное пособие. — М.: Пед. о-во России, 2004. — С. 32—36.
6. **Шестах Я. В.** Компетентностный подход в непрерывном профессиональном образовании // *Право и образование*. — 2006. — № 6. — С. 90—91.

## ИНФОРМАЦИЯ

**Четвертое Всероссийское совещание заведующих кафедрами вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды состоялось 21—26 сентября 2009 г.** в г. Москве на базе МГТУ им. Н. Э. Баумана. Оно стало одним из самых масштабных. В нем участвовали более 200 заведующих кафедрами со всех регионов России.

В рамках Совещания прошла юбилейная учебно-методическая конференция, посвященная 20-летию начала реализации дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" в системе высшего профессионального образования.

За прошедшие 20 лет общепрофессиональная дисциплина "Безопасность жизнедеятельности" стала значимой дисциплиной профессиональной подготовки, реализуемой для всех направлений и специальностей в области техники и технологий, педагогики и сельского хозяйства. Значимость дисциплины обосновывается ее большим социально-экономическим значением, а ее признание подтверждается тем, что в соответствии с проектами Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) она является единственной федеральной дисциплиной профессионального цикла, обязательной для реализации в образовательных программах абсолютно всех направлений подготовки.

## Указатель статей, опубликованных в журнале "Безопасность жизнедеятельности" в 2009 году

**Ванаев В. С., Русак О. Н., Павлихин Г. П.** Сто номеров журнала "Безопасность жизнедеятельности". № 4.

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**Абдуллин А. Г., Антипанова Н. А., Абдуллина Д. Г.** Жизнедеятельность человека в экологически неблагоприятных условиях существования. № 7.

**Бузановский В. А.** Системы безопасности (физико-химические измерения). № 5.

**Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** Дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД) — 20 лет. № 7.

**Козлов В. И.** Безопасность жизнедеятельности: маркетинговый подход к решению проблем. № 1.

### ОХРАНА ТРУДА

**Асминин В. Ф., Мурзинов В. Л.** Снижение шума при вибрации тонкостенных металлических конструкций применением демпфирующих вставок. № 2.

**Беспалов В. И., Евтушенко И. И.** Прогноз эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон орошением. № 9.

**Богданов А. В.** Улучшение показателей микроклимата в кабинах мобильных машин. № 5.

**Голик А. С., Зубарева В. А., Апальков А. С.** Обеспечение безопасности жизнедеятельности в аварийных условиях на угольных шахтах. № 7.

**Иванов Д. Е., Кондратьев В. Б., Викентьева М. А., Сметанин А. В., Полежаева О. В., Швецова-Шиловская Т. Н.** Аттестация рабочих мест по условиям труда на объектах по уничтожению химического оружия. № 7.

**Козлов В. И.** Оценка социально-психологического климата производственного коллектива в качестве показателя условий труда. № 2.

**Месхи Б. Ч., Булыгин Ю. И., Алексеенко Л. Н., Деундяк Д. В.** Синтез и исследование связи технических и санитарно-гигиенических критериев нормирования негативного воздействия выбросов дизельных машин. № 1.

**Смирнов М. И., Терехов А. Л., Минаев Д. А.** Акустический комфорт, пожарная безопасность и новые типы остекления. № 3.

**Яковлева Е. В., Польшакова Н. В.** Анализ производственного травматизма и улучшение условий труда на основе использования оценочных показателей уровня безопасности. № 6.

### ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

**Алыков Н. М., Алыкова Т. В., Асанова Д. Р.** Антиоксидантные свойства нового энтеросорбента. № 4.

**Афанасьева А. А., Назаренко Д. И., Швецова-Шиловская Т. Н., Полежаева О. В., Викентьева М. А.** Оценка риска для здоровья населения г. Камбарки Удмуртской республики при воздействии загрязняющих веществ. № 6.

**Демакова Е. А.** Проблемы и перспективы повышения качества и безопасности мебели для учреждений образования Красноярского края. № 10.

**Ким И. Н., Ткаченко Т. И.** Анализ современных методов мойки и дезинфекции рыбоперерабатывающих производств. № 6.

**Ушаков И. Б., Бухтияров И. В., Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В., Сипаков А. С.** Прогностические аспекты оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов. № 12.

### ПРОМЫШЛЕННАЯ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ) БЕЗОПАСНОСТЬ

**Беспалов В. И., Евтушенко И. И.** К вопросу взаимосвязи аэрогидродинамического режима и физико-химических свойств жидкости при обеспыливании ленточных конвейеров орошением. № 7.

**Бурдинский Э. В., Фуркин А. В., Юшманов В. Н., Пушкарев А. М.** Оценка эффективности катодной защиты подземных магистральных трубопроводов в условиях отслаивания покрытия. № 7.

**Горгоц К. Г., Эрнст А. Ю.** Совершенствование системы контроля состояния самоходных машин и прицепов. № 9.

**Зиновьев А. П., Зиновьев С. А., Рыжов Г. И., Рыжов И. Г.** Промышленная и экологическая безопасность нефтехимических процессов с высокой энергией. № 7.

**Кичигин О. В., Басаргин Н. Н., Носова О. А., Егоров В. Г.** Контроль содержания урана и тория в контурных водах и водоеме-охладителе атомных станций. № 6.

**Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Смирнов Ю. М., Ахтямов Р. Г., Хаердинова Э. С.** Электрометрический способ повышения промышленной и экологической безопасности функционирования подземных коммуникаций. № 5.

**Кузеев И. Р., Чиркова А. Г., Тляшева Р. Р., Буркина Е. Н.** Создание метода управления промышленной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли. № 4.



**Кулаков П. А., Шарафиев Р. Г., Ризванов Р. Г.** Основные этапы анализа риска установки производства катионных нефтеполимерных смол и пути повышения безопасности. № 5.

**Левашов С. П.** Методика экспертной оценки профессионального риска. № 1.

**Мальхин В. М., Мальхина Г. Ф.** Концепция целевого контроля и мониторинга организма человека и факторов среды для обеспечения безопасности. № 2.

**Мамаев В. К., Власов Е. Н.** Сравнительный анализ акустических характеристик отечественных и зарубежных центробежных компрессорных машин. № 12.

**Минаев Д. А.** Повышение промышленной безопасности на компрессорных станциях магистральных газопроводов. № 6.

**Шаврак Е. И.** Анализ некоторых аспектов транспортных рисков. № 1.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Соколов В. М.** Методология обоснования безопасного и надежного функционирования холодильных предприятий как объектов жизнеобеспечения. № 3.

**Старостин Н. П., Кондаков А. С., Корбанков С. В., Герасимов А. И., Ветошкин Н. И., Захаров А. Г.** Исследование температурного режима в тоннельном переходе газопровода через реки в регионах холодного климата. № 3.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Алыков Н. М., Золотарева Н. В.** Моделирование воздействия диоксида серы на структурированную белковую поверхность с использованием квантово-химического аппарата. № 10.

**Афанасьев О. М., Панин А. В.** Снижение экологических рисков производственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта путем внедрения технологии переработки образующихся жидких нефтесодержащих отходов. № 6.

**Баженов В. И.** Градиент скорости — характеристика для оценки устройств перемешивания активного ила аэротенков. № 3.

**Байдичева О. В., Рудаков О. Б., Хрипушин В. В., Барсукова Л. Г.** Определение цветности воды с использованием цифровых технологий. № 1.

**Бузановский В. А.** Разработка системы контроля концентрации кислорода в воздухе помещений заправочной станции. № 9.

**Бузановский В. А., Попов А. А.** Использование рентгенофлуоресценции в экологическом контроле. № 1.

**Буренин В. В.** Новые конструкции фильтров и устройств для очистки и обезвреживания сточных вод промышленных предприятий. № 1.

**Вавилов В. И.** Эффективное сжигание низкосортных углей на двухъярусной топке. № 6.

**Гриншпан Д. Д., Иванец М. Г., Бахир Н. К., Невар Т. Н., Цыганкова Н. Г., Макаревич С. Е., Савицкая Т. А., Свитцов А. А., Хубецов С. Б.** Сорбционная очистка модельных сточных вод атомных электростанций с помощью угольных сорбентов. № 9.

**Гумеров Т. Ю., Швинк К. Ю.** Особенности восстановления Cr(VI) в Cr(III) при очистке сточных вод. № 1.

**Денисов А. А., Фролов И. Ю.** Моделирование процессов переноса загрязнителей и биомассы бактерий через фильтрующий слой почвы биологического пруда. № 9.

**Зайнуллин А. М., Шайхиев И. Г., Фридланд С. В.** Очистка сточных вод производства диазодинитрохинона. № 1.

**Иващук О. А.** Модельная оценка и оптимизация негативного воздействия поверхностного стока автодорог на природные водные объекты (на примере Орловского региона). № 3.

**Ковтунов А. В., Левченко А. С., Лаврус О. Е., Мюлюкин О. П., Финогенов С. А.** Обеспечение экологической безопасности транспортировки рабочих сред под давлением в железнодорожных цистернах с предохранительными мембранами. № 5.

**Колесников В. А., Капустин Ю. И., Матвеева Е. В., Минаева И. А.** Электрофлотационная очистка нефтесодержащих сточных вод судов. № 7.

**Красногорская Н. Н., Богатых К. Ф., Елизарьев А. Н., Ахтямов Р. Г., Сапожникова А. К.** Оценка экологической опасности "больших дыханий" резервуаров автозаправочных станций крупного города. № 6.

**Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Фашевская Т. Б., Якупова Л. М., Нафикова Э. Р.** Использование искусственных нейронных сетей при прогнозировании качества речной воды. № 4.

**Красногорская Н. Н., Фашевская Т. Б., Елизарьев А. Н., Головина А. В.** Оценка изменений водности реки Белой как фактора обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. № 2.

**Ксенофонтов Б. С.** Совершенствование технологии очистки сточных вод биохимических производств. № 1.

**Ксенофонтов Б. С.** Флотационная обработка угольной золы ТЭЦ. № 4.

**Ксенофонтов Б. С.** Интенсификация очистки сточных вод химических производств с использованием биофлокулянтов. № 10.

**Куксанов В. Ф., Шайхутдинова А. А.** Комплексная оценка влияния золоотвала Кумертауской ТЭЦ на экосистемы. № 7.

**Мехтиев А. Ш., Азизов Б. М., Мехтиев Д. С.** Об оценке теплопроводности почв, загрязненных нефтепродуктами в тепловом ИК-диапазоне. № 12.

- Отделкин Н. С., Адамов Е. И.** Защита окружающей среды при перегрузке сыпучих грузов грейферно-бункерными перегружателями. № 2.
- Сандуляк А. А.** Феррозагрязнение технологического процесса — риск опасной эксплуатации оборудования — базовые зависимости. № 12.
- Сапченко И. Г., Жилина С. Г., Комаров О. Н.** Улучшение экологических показателей при литье по выплавляемым моделям использованием пористых удаляемых моделей. № 2.
- Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Красногорская Н. Н., Вдовина И. В.** Анализ технологических решений по очистке сточных вод горно-обогатительных комбайнов. № 7.
- Славинская Г. В., Ковалева О. В.** Влияние поверхностно-активных веществ естественного и искусственного происхождения на качество питьевой воды. № 12.
- Соколов Э. М., Шейнкман Л. Э., Дмитриева Т. В., Чернова М. В., Дергунов Д. В.** Исследование деградации фенольных соединений в водных системах под действием физико-химических факторов. № 4.
- Терентьев О. М., Можаровская Е. А.** Устройство для очистки рабочей жидкости под воздействием магнитного поля. № 1.
- Топольский Н. Г., Демехин Ф. В.** Комплексная оценка эффективности автоматизированных систем противопожарной защиты предприятий нефтепереработки с использованием видеотехнологий. № 4.
- Трухан Э. М.** Новая разновидность электромагнитной опасности среды обитания. № 10.
- Филонова Е. Н.** О гигиеническом нормировании тяжелых металлов в почвах. № 3.
- Хлебникова И. В., Смирнов Ю. Ю., Хлебникова Т. Д., Кирсанова Т. В., Кантор Е. А.** Разработка биохимического метода очистки сточных вод от тяжелых металлов. № 9.
- Худякова Л. И., Войлошников О. В.** Решение проблемы утилизации отходов горнодобывающих предприятий. № 3.
- Худякова Л. И., Войлошников О. В.** Утилизация хвостов обогащения перерабатывающих предприятий. № 10.
- Чирков О. А., Нилов А. П., Башаева И. А.** Повышение эффективности красильно-отделочного производства посредством улучшения экологических показателей технологического процесса. № 2.
- Яйли Е. А.** Концепция риска для управления уровнем экологической безопасности на урбанизированных территориях. № 5.

## ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Абросимов Ю. Г., Хоань Зань Бинь.** Расчет потерь напора при течении воды в рукавных линиях противопожарного водоснабжения. № 12.
- Алексеев С. В., Поникаров С. И., Алексеев В. А.** Прогнозирование последствий аварий, связанных с разгерметизацией резервуарного оборудования. № 9.
- Алита С. Л.** Способ определения скорости инфильтрации дождевой воды в почву. № 6.
- Барановский Н. В.** Модель дифференцированной оценки лесной пожарной опасности по антропогенным причинам. № 7.
- Беседин С. Н.** Новый подход к диагностике и прогнозу формирования предпожарной ситуации в энергонасыщенных помещениях. № 1.
- Галеев А. Д., Поникаров С. И.** Прогнозирование зон токсической опасности и пожаровзрывоопасности при авариях на объектах хранения нефтепродуктов. № 5.
- Долгова М. А., Галеев А. Д., Поникаров С. И.** Моделирование процесса испарения жидкости с поверхности аварийного пролива. № 6.
- Дубинкин Е. А., Шмановский В. А., Медведев О. А.** Малогабаритный приемник спутниковой информации "Космос-М1": опыт и перспективы использования. № 10.
- Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров А. М., Качалкин В. А., Осипова Л. Э.** Методы оценки теплового поражения людей в чрезвычайных ситуациях. № 9.
- Кузнецов Г. В., Панин В. Ф., Стрижак П. А.** Прогностический анализ пожарной опасности возгораний жидких топлив при проведении ремонтных работ на тепловых электрических станциях. № 12.
- Лазарев А. И., Белалов В. Р.** Учебный стенд для изучения систем пожарной автоматики зданий. № 5.
- Макаров В. М.** Обеспечение безопасности людей, находящихся на верхних этажах зданий в чрезвычайных ситуациях. № 9.
- Минько В. М.** Уроки взрыва. № 5.
- Мурадов А. В., Волохина А. Т., Глебова Е. В., Иванова М. В.** Аварийность магистральных газопроводов с учетом человеческого фактора. № 12.
- Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А., Митрохин А. В.** О результатах экспериментального исследования взрывов газо-воздушной смеси в топке парового котла КП-0,12. № 2.
- Попов В. Г., Петров С. В.** Метод оценки аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам. № 9.
- Пузач С. В., Абакумов Е. С., Нгуен Тхань Хай.** Определение скорости опускания нижней границы припотолочного газового слоя при пожаре в атриуме. № 12.
- Пушкин Д. С.** Энергетические потери в пожарных напорных рукавах. № 6.



- Рубцов Д. Н., Сучков В. П., Рубцов В. В.** Модель нагрева шпильки фланцевого соединения в пожаре. № 4.
- Тайсумов Х. А., Назаров В. П., Присяжнюк Н. Л., Орехов В. А., Карасев С. П.** Современные проблемы использования пенообразователей для тушения пожаров. № 10.
- Хабибулин Р. Ш.** Конечно-элементное моделирование теплового состояния резервуара в условиях воздействия лучистых тепловых потоков пожара. № 4.

## ОБРАЗОВАНИЕ

- Белов П. Г.** Как реформировать образование в сфере безопасности. № 3.
- Горгоц К. Г., Чупрунов В. В., Эрнст А. Ю.** Система целевой подготовки кадрового резерва специалистов инспекций Ростехнадзора ХМАО — Югры в рамках учебного процесса специальности 190603 "Сервис транспортных и технологических машин и оборудования". № 2.
- Дубинин А. П., Бахарев В. П., Муравьев Н. С., Резчиков Е. А.** Трансдисциплинарный подход к изучению вопросов безопасности в техносфере. № 5.
- Зиновьева О. М., Матрюков Б. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А.** Дополнительное обучение учащихся, специалистов и руководителей образовательных учреждений в области обеспечения безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях. № 2.
- Иванова М. В., Волохина А. Т., Прусенко Б. Е.** Анализ существующих методов развития профессионально важных качеств и разработка методики их улучшения на примере рабочего персонала ООО "Газпром трансгаз Самара". № 4.
- Кафидов В. В., Орлова О. Н.** Повышение квалификации руководящего звена специалистов государственной противопожарной службы МЧС России. № 6.
- Лаптева О. И.** Формирование компетенций интерактивными методами обучения на занятиях безопасности жизнедеятельности в вузе. № 12.
- Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1946—1953 годы. Скороходов Николай Иосифович (1911—1953). № 3.
- Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1953—1959 годы. Кушвид Петр Григорьевич (1898—19\_\_?). № 5.
- Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1959—1967 годы. Гладких Петр Андреевич (1906—1980). № 9.

**Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1967—1976 годы. Юдин Евгений Яковлевич (1914—1992). № 10.

**Современный подход к проблемам безопасности:** Рецензия на учебник Н. Г. Занько, К. Р. Малаяна, О. Н. Русака "Безопасность жизнедеятельности" / Под ред. О. Н. Русака. СПб.: Лань, 2008. № 3.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ БЖД

- Козьяков А. Ф., Симакова Е. Н.** О новом федеральном законе "О внесении изменений в статью 16 ФЗ "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации". № 9.
- Новый национальный стандарт** "Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению". № 1.
- О межгосударственном стандарте** "Шум. Руководство по снижению шума кожухами и кабинами". № 2.
- О национальном стандарте РФ** ГОСТ Р ИСО 7243—2007. № 4.
- О новом межгосударственном стандарте** "Вибрационная безопасность. Общие требования". № 3.

## РЕСУРСЫ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

- Змиева К. А.** Повышение эффективности управления процессом механообработки на основе автоматизированной системы энергосбережения. № 10.
- Кузнецова Л. В., Сотникова О. А.** Энергосберегающая эксплуатация сооружений при эффективной пассивной защите строительных конструкций. № 10.

## ОТКЛИКИ ЧИТАТЕЛЕЙ

**Чура Н. Н.** О терминологии и основных понятиях безопасности (на примере статьи Е. А. Яйли "Концепция риска для управления уровнем экологической безопасности на урбанизированных территориях", опубликованной в журнале "Безопасность жизнедеятельности". — 2009. — № 5). № 10.

## ИНФОРМАЦИЯ

- Всероссийская студенческая олимпиада по** технической безопасности. № 1.
- Использование возобновляемых источников энергии** для обеспечения продовольственной и энергетической безопасности России. № 7.
- Новиков Н. Н.** Национальная ассоциация центров охраны труда (НАЦОТ). № 10.

- Новиков Н. Н., Сердюк В. С.** О мировых проблемах в области техносферной безопасности и возможных путях их решения (по материалам XVIII Всемирного конгресса по охране труда в г. Сеуле). № 5.
- О выпуске IV тома "Атласа временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов".** № 5.
- О мерах** по использованию попутных нефтяных газов (сообщение Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, представленное Управлением по связям с общественностью и взаимодействию со СМИ). № 6.
- О программе** действий по улучшению условий и охраны труда на 2008—2010 годы, утвержденной приказом Минздравсоцразвития России от 23 октября 2008 г. № 586. № 3.
- Парламентские** слушания в Государственной думе РФ по проблемам отходов производства и потребления. № 6.
- Пресс-релиз** круглого стола на тему "Сбор. Транспортировка. Переработка и утилизация ТБО". № 2.
- Создание** и внедрение технологий сохранения жизнеобеспечивающих функций окружающей среды на основе инновационных разработок искусственно-регулируемого атмосферных осадков. № 4.
- Социально-экологические** аспекты водоснабжения населения России: Рецензия на монографию А. П. Свицова, В. С. Квартенко "Социально-экологическая безопасность водоснабжения населения". № 5.
- Школа** выживания — 2009. № 10.

## ПРЕДСТАВЛЯЕМ ОРГАНИЗАЦИЮ

### **Балтийский государственный технический университет (БГТУ) "Военмех" им. Д. Ф. Устинова. № 8.**

- Иванов К. М.** Наша цель — оставаться лидером подготовки элитных кадров.
- Иванов Н. И.** 25 лет кафедре "Экология и безопасность жизнедеятельности".
- Буторина М. В., Иванов Н. И., Кудавев А. В., Куклин Д. А., Курцев Г. М., Олейников А. Ю., Шашурин А. Е.** Результаты картирования шума Санкт-Петербурга.
- Курилович И. А., Смирнов Н. М., Сидоров В. Н.** Применение современных технологий для изучения грунтов при строительстве и реконструкции сооружений в Санкт-Петербурге.
- Кирпичников В. Ю., Дроздова Л. Ф., Яковлева Е. В.** Исследование вибрационных и шумовых характеристик междуэтажного перекрытия жилого здания.
- Буторина М. В., Минина Н. Н.** Особенности расчета уровней шума автотранспортных потоков.
- Буторина М. В., Иванов Н. И., Куклин Д. А.** Исследования шума поездов.

- Куклин Д. А., Тюрина Н. В.** Исследования акустических экранов для снижения шума поездов.
- Иванов Н. И., Курцев Г. М., Шашурин А. Е.** Расчет ожидаемой шумности в кабинах при проектировании строительных машин.
- Дроздова Л. Ф., Кудавев А. В.** Расчет и проектирование звукоизолирующих капотов для снижения шума энергетических установок.
- Кирпичников В. Ю., Дроздова Л. Ф., Попов А. В.** Опыт снижения уровней шума холодильного шкафа-витрины.
- Фадин И. М., Фадин С. И., Сидоров В. Н.** Автоматизированный мониторинг физических опасных и вредных производственных факторов.
- Андрюшкин А. Ю., Сидоров В. Н.** Утилизация жидких органических отходов сверхзвуковым газодинамическим потоком.

### **Петербургский государственный университет путей сообщения. № 11.**

- Петербургскому** государственному университету путей сообщения — 200 лет.

#### **Кафедра "Техносферная и экологическая безопасность"**

- Титова Т. С., Лыщик А. В.** Становление и развитие кафедры "Техносферная и экологическая безопасность" Петербургского государственного университета путей сообщения.
- Лыщик А. В., Якубчик Н. М.** Опыт Петербургского государственного университета путей сообщения в области подготовки специалистов по безопасности труда.

#### **Безопасность труда**

- Ефимова Е. И.** Мотивация безопасного труда.

#### **Производственная безопасность**

- Дмитриева Т. С., Титова Т. С.** Технология очистки поверхностей металлических изделий холодной плазмой.

#### **Ресурсосбережение**

- Титова Т. С., Красненко А. Ф., Иванюк С. В.** Ресурсосбережение при обращении с отработанными маслами в системе железнодорожного транспорта.

#### **Экологическая безопасность**

- Бабак Н. А.** Учет особенностей электронного строения промышленных отходов с целью утилизации при производстве жаростойких бетонов.



**Леванчук А. В.** Обоснование разработки информационно-аналитической технологии системы социально-гигиенического мониторинга.

**Пронин А. П., Зальцман Г. К.** Экологические аспекты защиты селитебных территорий от шума подвижного состава железных дорог.

**Рижинашвили А. Л.** Биологические объекты и химические процессы в пресных водоемах как элементы экологической безопасности в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

**Шилова Е. А., Юферева Л. М.** Что мы сажаем, сажая леса... К вопросу о концептуальном подходе озеленения городов.

**Долгалева Л. М., Ефимова Е. И.** К оценке экологического состояния приуровневых лесов вблизи сети автомобильных грунтовых дорог на юге Читинской области.

### Образование

**Рыжова Е. Л., Зальцман Г. К.** Методика определения надежности системы обучения охране труда с использованием тренажера-имитатора.

**Тихомиров О. И.** Повышение эффективности обучения вопросам безопасности труда на основе мультимедийных технологий.

## Указатель приложений к журналу "Безопасность жизнедеятельности", опубликованных в 2009 году

**Агаджанян Н. А., Аптикаева О. И., Гамбурцев А. Г., Грачев В. А., Жалковский Е. А., Летников Ф. А., Расторгуев В. Н., Сидоров П. И., Черешнев В. А., Юдахин Ф. Н.** Системный экологический мониторинг как компонент стратегической безопасности. № 9.

**Аполлонский С. М.** Электромагнитные поля в общей проблеме безопасности жизнедеятельности человека. № 11, 12.

**Вайсберг Л. А., Картавый А. Н.** Дробильно-сортировочные комплексы в технологиях переработки твердых промышленных и коммунальных отходов. № 2.

**Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** Безопасность жизнедеятельности. Терминология: Словарь-путеводитель. Часть IV. Термины и понятия законодательных актов и нормативных документов Минздравсоц-

развития, Росстроя и ГСС. Выпуск 5. Сте-Я. Перечень исходных нормативных документов. № 1.

**Защита** от опасных метеорологических явлений. № 6.

**Ксенофонов Б. С.** Технология очистки промышленных сточных вод энергопредприятий. № 7.

**Опыт ОАО "КБСМ"** по созданию технологии "сухого" хранения отработавшего ядерного топлива. № 4.

**Русак О. Н.** Основы учения о безопасности человека. № 8.

**Рылов М. И., Тихонов М. Н.** Ядерно-радиационное наследие на Северо-Западе России: проблемы, пути решения, роль общественности. № 5.

**Тихонов М. Н.** Радоновая радиация на территориях с повышенным радиационным фоном. № 10.

**Шавкин С. В., Черноплеков А. Н., Гостева А. В., Монахов Р. Е., Ляпин А. А.** Расчет частоты аварийной разгерметизации для количественного анализа риска современных магистральных газопроводов. № 3.

### Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

Журнал выходит при содействии Учебно-методического совета "Техносферная безопасность" Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию и Научно-методического совета "Безопасность жизнедеятельности" Министерства образования и науки Российской Федерации

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора (812) 550-0766, e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. В. Конова*. Корректор *Е. В. Комиссарова*.

Сдано в набор 12.10.09. Подписано в печать 23.11.09. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,10. Заказ 991.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142100, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.