



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

11(95)  
2008

**Редакционный совет:**

БАЛЫХИН Г. А.  
БЕЛОВ С. В.  
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.  
(председатель)  
ПОПОВ П. А.  
СОКОЛОВ Э. М.  
СОРОКИН Ю. Г.  
ТЕТЕРИН И. М.  
ТИШКОВ К. Н.  
УШАКОВ И. Б.  
ФЕДОРОВ М. П.  
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.  
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.  
КСЕНОФОНТОВ Б. С.  
КУКУШКИН Ю. А.  
МАСТРЮКОВ Б. С.  
МЕДВЕДЕВ В. Т.  
НАЗАРОВ В. П.  
ПАНАРИН В. М.  
ПОЛАНДОВ Ю. Х.  
ПОПОВ В. М.  
СИДОРОВ А. И.  
ФРИДЛАНД С. В.  
ХАБАРОВА Е. И.  
ЦХАДАЯ Н. Д.  
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОХРАНА ТРУДА

**Орешин А. Н., Лукашов П. Д., Орешина Т. А.** Эргономический аспект повышения эффективности трудовой деятельности человека . . . . . 2

### ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Маркуш М. Н., Сидоров А. И., Тряпицын А. Б., Белешева М. В.** Исследование возможности управления риском на основе нечеткой логики . . . . . 7  
**Набоков Э. П.** Экспертиза промышленной безопасности Ех-оборудования . . . . . 16

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Зуйкова А. А., Семин И. В.** Описание математических моделей распространения выбросов вредных веществ при разрыве трубопроводов . . . . . 20  
**Кузнецов Ю. Н., Смирнов А. Н., Барышенко А. В., Степанчикова И. Г., Котлярова Н. Б., Калинин В. Н.** Новый способ очистки сточных вод . . . . . 26  
**Панин В. Ф., Шрамов Д. М., Филатов А. Ю.** Об интегрированной системе компьютерного мониторинга качества приземного воздуха для урбанизированных территорий . . . . . 29  
**Савельев С. Н., Зиятдинов Р. Н., Фридланд С. В.** Интенсификация процесса окисления углеводородов кислородом воздуха и озono-воздушной смесью при очистке сточных вод . . . . . 35

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

**Кузнецова Л. В., Щукина Т. В.** Обеспечение пожарной безопасности пассивными способами огнезащиты . . . . . 41

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**Брежнева И. Н., Клейменова И. Е., Сибгатуллин Р. Н.** Систематизация существующей нормативно-технической документации по оценке воздействия на окружающую среду шума, вибрации и ЭМП . . . . . 44

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ

**О межгосударственном стандарте "Шум машин. Метод сравнения данных по шуму машин и оборудования".** . . . . . 49

### ИНФОРМАЦИЯ

**Хантургаева Г. И., Ширеторова В. Г., Антропова И. Г.** Приоритеты развития и экологическая безопасность Байкальского региона (по материалам Международной научно-практической конференции) . . . . . 53

**Приложение. Ванаев В. С., Козьяков А. Ф.** Безопасность жизнедеятельности. Терминология: Словарь-путеводитель. Часть IV. Термины и понятия законодательных актов и нормативных документов Минздравсоцразвития, Росстроя и ГСС. Выпуск 3. Не—Пра.

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".

УДК 331.101.1

**А. Н. Орешин**, канд. техн. наук, **П. Д. Лукашов**, **Т. А. Орешина**,  
Академия ФСО России, г. Орел

## Эргономический аспект повышения эффективности трудовой деятельности человека

*С инженерно-кибернетических позиций предложен методический аспект трудовой деятельности человека, позволяющий повысить эффективность функционирования системы "человек — машина" путем оптимизации решения задач эргономики и инженерной психологии.*

**Ключевые слова:** эргономика, искусственный интеллект, инженерная психология, оптимизация, система мониторинга.

**Oreshin A. N., Lukashov P. D., Oreshina T. A. Methodical aspect of increase of efficiency of labour activity of the person**

*In given article from engineering — cybernetic positions the methodical aspect of labour activity of the person is offered, allowing to increase efficiency of functioning of system "the person — the machine" by optimization of the decision of problems of ergonomics and engineering psychology.*

**Keywords:** ergonomic, artificial intelligence, engineering psychology, optimization, monitoring system.

### Структура эргономики, основные понятия

Интеграция требований к предметной среде и ее оптимизации со временем привели человечество к выработке обобщенных критериев и требований, ставших основой науки о труде — эргономики. **Эргономика** (от греческого *ergon* — работа и *nomos* — изучение, организация труда) — научно-практическая дисциплина, изучающая функциональные возможности человека и средства его деятельности, окружающую среду в трудовых процессах с целью повышения эффективности, безопасности и комфорта жизнедеятельности путем оптимизации средств, условий и процесса труда.

Основной задачей эргономики является обеспечение эффективного и безопасного взаимодействия человека со средствами труда и окружающей средой за счет учета специфических возможностей, как человека, так и технических средств.

*Предметом исследования* эргономики является трудовая деятельность, а *объектом исследования* — система "человек — машина — среда". Такие систе-

мы в эргономике получили название системы "человек — машина" (СЧМ).

Используя системный подход, рассмотрим задачи эргономики с инженерно-кибернетических позиций, а также раскроем основные понятия и определения.

**Машина** — любое техническое устройство, предназначенное для целенаправленного изменения материи, энергии или информации.

**Среда** — внешние факторы, оказывающие влияние на систему "человек — машина". Под ними будем понимать не только температуру, влажность, газовый состав воздуха, шум, вибрацию, но и социально-психологические факторы, команды и пояснения руководителей работ, различные правила, инструкции и т. д. Среда, обмениваясь с системой вещественными, энергетическими и информационными потоками, является источником неопределенности в ее функционировании.

**Системный подход** — это общая методология исследования объектов природы, общества, науки и техники. Под научной теорией понимается особая форма организации знаний, включающая три основных элемента: научные понятия, основные положения и следствия. Органичным свойством теории является системность входящих в нее знаний. Применение системных исследований во многих областях науки, техники и технологии позволяет утверждать о тенденции современного общества к использованию системного подхода [1].

**Система** — целостное образование взаимосвязанных элементов, обладающее эмергентностью.

**Эмергентность (целостность)** — свойство системы, которое принципиально не сводится к сумме свойств элементов, составляющих систему, и не выводится из них.

В эргономике в качестве элементов системы "человек — машина" будем рассматривать инженеров, технические средства и среду. Каждый из указанных элементов может изменяться во времени. В результате происходит изменение их взаимодействия. Система "человек — машина" называется сложной, если существенно проявляется один из следующих видов ее сложности:

— структурная сложность, определяемая числом элементов системы, числом и разнообразием свя-

зей между ними, количеством иерархических уровней и общим числом подсистем;

— сложность функционирования, определяемая характеристиками множества состояний, правилами перехода из состояния в состояние, характеристиками воздействия среды и системы, степени их неопределенности;

— сложность выбора поведения в многоальтернативных ситуациях;

— сложность развития, определяемая характеристиками соответствующих эволюционных и скачкообразных процессов.

*Элемент* — предел членения системы с точки зрения рассмотрения системы, решения конкретной задачи, поставленной цели.

*Свойство* — сторона объекта, обуславливающая его отличие от других объектов или сходство с ними и проявляющаяся в его отношении к ним.

*Структура* — характеристика устойчивых связей и способов взаимодействия элементов системы, определяющая ее целостность, строение, основы организации.

*Состояние системы* — совокупность параметров (свойств, качеств, признаков), которые в каждый рассматриваемый момент времени отражают наиболее существенные с определенной точки зрения стороны поведения системы, ее функционирования.

В зависимости от взаимодействия систем со средой их классифицируют как открытые и закрытые.

*Открытая система* — это система, которая взаимодействует с окружающей ее средой. Открытая система является частью более общей системы или нескольких систем. Система "человек — машина" является открытой. Основные трудности, стоящие на пути изучения открытых систем, связаны с отсутствием тех или иных сведений о воздействиях среды на систему и с тем, что не всегда удается четко разделить элементы среды и системы. В связи с этим прибегают к некоторой идеализации, например, к рассмотрению системы как закрытой.

*Закрытая система* — это система, которая не взаимодействует со средой или взаимодействует с ней строго определенным образом.

*Динамическая система* — это система, состояние которой изменяется во времени под воздействием определенных причинно-следственных связей. Система "человек — машина" является динамической.

*Статическая система* — это система, состояние которой во времени не меняется.

Следует особо подчеркнуть, что эргономика изучает определенные свойства системы "человек — машина", которые получили название человеческих факторов, представляющих характеристики

связи человека и машины. Осмысление безопасного взаимодействия человека со средствами труда и окружающей средой, по существу, всегда приводит к необходимости оценивания его качества и количества. Важность понятия качества привела к возникновению и формированию самостоятельной науки — квалиметрии. В общем случае под квалиметрией понимается теория оценивания качества изучаемых объектов или процессов и формирование на основе полученных оценок соответствующих квалиметрических решений.

Понятие "качество" является фундаментальной философской категорией, выступающей в роли атрибута любой системы. *Качество системы* "человек — машина" — это свойство или совокупность человеческих факторов, обуславливающих ее пригодность для эффективного и безопасного взаимодействия человека со средствами труда и окружающей средой. С количественной точки зрения каждое из изучаемых свойств СЧМ может быть описано с помощью некоторой переменной, значение которой и характеризует уровень его качества относительно этого свойства. Уровень качества системы определяется значениями совокупности частных показателей, необходимых для оценки степени соответствия системы ее предназначению. Эту совокупность и называют показателем качества системы.

Требуемое качество системы задается условиями, которым должны удовлетворять возможные значения показателей его существенных свойств. Эти условия называются *критериями оценивания качества* системы, а проверка их выполнения называется оцениванием качества системы.

При оценивании качества любой системы (объекта), описываемой  $n$ -мерным векторным показателем, реализуется совокупность критериев, каждый из которых в общем случае может принадлежать одному из трех классов:

- классу  $\{G\}$  критериев пригодности;
- классу  $\{O\}$  критериев оптимальности;
- классу  $\{s\}$  критериев превосходства.

Приведем их математические формулировки [1].

Пусть  $y_i^j$ ,  $[i = 1(1)n; j = 1(1)m]$  — показатель  $i$ -го свойства  $j$ -го объекта, т. е. показатель качества  $j$ -го объекта есть вектор  $Y_{(n)}^j = \langle y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j \rangle$ ;  $\{y_i^d\}$  — множество (область) допустимых значений показателя  $y_i^j$  или в векторной форме  $\{Y_{(n)}^d\} = \langle y_1^d, y_2^d, \dots, y_n^d \rangle$ . Тогда критерии перечисленных выше классов имеют следующие определения.



*Критерий пригодности:*

$$G: \bigcap_{i=1}^n (y_i^j \in \{y_i^D\}) \cong U, [j = 1(1)m], \quad (1)$$

где  $U$  — достоверное событие (истинное высказывание);  $\cap$  — символ булева пересечения событий (конъюнкции высказываний).

Все объекты, для которых выполняется условие (1), пригодны для использования по назначению. При этом все они обладают одинаковым качеством.

*Критерий оптимальности:*

$$O: \bigcap_{i=1}^n (y_i^j \in \{y_i^D\}) \cap_{k \in \{k\}_{n_0}} (y_k^j = y_k^{\text{опт}}) \cong U, \\ [n_0 = 1(1)n; j = 1(1)m], \quad (2)$$

где  $y_k^{\text{опт}}$  — оптимальное значение показателя  $k$ -го свойства;  $n_0$  — объем множества  $\{k\}_{n_0}$  номеров оптимизируемых свойств объекта.

По определению, объект, для которого выполняются условия (2), называется оптимальным по  $k$ -му свойству, т. е. по  $n_0$  свойствам.

*Критерий превосходства:*

$$S: \bigcap_{i=1}^m \bigcap_{j=1}^n (y_i^j \in \{y_i^D\}) \cap_{i=1}^n \bigcap_{j \neq 1}^n (y_i^l \geq y_i^j) \cong U, \\ [l = 1(1)m], \quad (3)$$

где  $l$  — номер превосходного объекта.

По определению, объект, для которого выполняется условие (3), превосходит по качеству все остальные объекты.

Если по всем свойствам

$$\bigcap_{i=1}^n (y_i^l = y_i^j) \cong U,$$

то качество  $l$ -го и  $j$ -го объекта признаются одинаковыми [1].

Показатели качества системы "человек — машина", или значения человеческих факторов, позволяют сформулировать критерий к профессиональному отбору, обучению персонала, техническим средствам, окружающей среде и адаптации человека к условиям функционирования технических средств. Вследствие чего эргономика призвана решать ряд проблем, связанных с оценкой качества технических средств относительно человека и психологических особенностей труда человека при взаимодействии его с техническими средствами и окружающей средой в процессе производства и эксплуатации, влияющих на эффективность трудовой деятельности человека в СЧМ.

## Оценка качества технических средств

Человеческие факторы всесторонне проявляются и фиксируются в такой целостной эргономической характеристике СЧМ, как эргономичность. Под *эргономичностью* будем понимать свойство технических средств изменять эффективность трудовой деятельности в СЧМ в зависимости от степени ее соответствия физическим, биологическим и психическим свойствам человека. Эргономичность формируется на базе таких свойств технических средств, как управляемость, обслуживаемость, усвояемость и обитаемость [2].

*Управляемость* — свойство технических средств изменять эффективность выполнения человеком основной и вспомогательной работы при обеспечении необходимых технологических операций.

*Обслуживаемость* — свойство технических средств изменять эффективность выполнения человеком трудовых операций по приведению техники в состояние готовности к функционированию и поддержанию этого состояния во времени.

*Усвояемость* характеризует эффективность приспособления технических средств к быстрому и качественному овладению техническим и управляющим персоналом.

*Обитаемость* — эргономическое свойство технических средств, приближающее условия ее функционирования к оптимальным биологическим параметрам окружающей среды, при которых работающему человеку обеспечивается нормальное развитие, безопасность и высокая работоспособность.

## Оценка качества психологических особенностей труда человека

Особая роль в изучении психологических особенностей труда человека принадлежит инженерной психологии. Инженерная психология (от франц. *ingenieur* — инженер, специалист в области техники) — отрасль психологии, исследующая процессы и средства информационного взаимодействия между человеком и машиной. Она возникла и развивалась в условиях научно-технической революции, преобразовавшей психологическую структуру производственного труда. Важнейшими составляющими его стали процессы восприятия и переработки оперативной информации, принятия решений в условиях ограниченного времени, компьютеризации всех звеньев производства и управления, мобильной связи и минимизации затрат всех видов ресурсов, при широком использовании гибких технологий управления.

Объектом изучения инженерной психологии является человек в системе "человек—машина", предметом — трудовая деятельность. Ниже перечислены основные задачи инженерной психологии.

1. Анализ деятельности человека в СЧМ, распределение функций между человеком и автоматическими системами, в том числе с искусственным интеллектом.

В процессе этого анализа изучается психологическая структура деятельности человека, выявляются цели, мотивы и способы выполнения трудовой деятельности, рассматриваются возможные режимы работы и критерии оценки их влияния на результаты труда. На основании этих исследований формируются необходимые требования к характеристикам человека.

*Искусственный интеллект* — раздел информатики, изучающий возможность обеспечения разумных рассуждений и действий с помощью вычислительных систем и иных искусственных устройств. При этом в большинстве случаев заранее неизвестен алгоритм решения задачи [3].

2. Изучение комплекса эргономических свойств человека с помощью исследования:

— факторов, влияющих на эффективность, качество, точность, скорость, надежность действий человека;

— процессов приема человеком информации, изучение сенсорных "входов" человека;

— формирования команд выполнения управляющих действий человеком, характеристик речевого и моторного "выхода".

Кроме того, при изучении эргономических свойств человека анализируют процессы переработки информации человеком, ее хранения и принятия решений, психологические механизмы регуляции деятельности.

3. Организация рабочего места человека с учетом комплекса его эргономических свойств.

Рабочее место — это место человека в системе "человек—машина", оснащенное средствами отображения информации органами управления и вспомогательным оборудованием, на котором осуществляется его трудовая деятельность [4].

Разрабатываются требования, предъявляемые к рабочему месту в целом и к отдельным его элементам, с целью обеспечения максимальных удобств и эффективной работы.

Организация рабочего места зависит от характера труда человека (умственный или физический, тяжелый или легкий, разнообразный или монотонный) и условий труда (комфортные или неблагоприятные).

Комфортные условия труда — состояние окружающей среды на рабочем месте человека, обеспе-

чивающее оптимальную динамику работоспособности человека, нормальное самочувствие и сохранение здоровья.

Так, например, при компоновке постов и пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет  $120^\circ$ , с поворотом —  $225^\circ$ ; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы —  $30\ldots 40^\circ$  (допустимый  $60^\circ$ ), с поворотом —  $130^\circ$ . Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет  $130^\circ$ , оптимальный —  $30^\circ$  вверх и  $40^\circ$  вниз [4].

При организации производственного процесса следует учитывать антропометрические и психофизиологические особенности человека, его возможности в отношении величины усилий, темпа и ритма выполняемых операций, а также анатомо-физиологические различия между мужчинами и женщинами.

4. Исследование вопросов работоспособности и утомляемости человека, обеспечения рационального режима труда и отдыха, факторов, влияющих на работоспособность, и анализ групповой деятельности.

Работоспособность — величина функциональных возможностей организма человека, характеризующаяся количеством и качеством работы, выполняемой за определенное время [4].

Существенное влияние на работоспособность человека оказывают температурный режим, освещение, дизайн, шум, вибрация, правильный подбор цветовой гаммы по отделке помещений, выбор и размещение органов и пультов управления машинами, компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, психологический климат в коллективе.

Психоэмоциональная разгрузка достигается путем эстетического оформления интерьера, использования удобной мебели, позволяющей находиться в удобной расслабленной позе, трансляции специально подобранных музыкальных произведений, насыщения воздуха благотворно действующими отрицательными ионами, приема тонизирующих напитков, имитации в помещении естественно-природного окружения и воспроизведения звуков леса, морского прибоя и др. [5].

Одним из элементов психологической разгрузки является аутогенная тренировка, основанная на комплексе взаимосвязанных приемов психической саморегуляции и несложных физических упражнений со словесным самовнушением. Этот метод позволяет нормализовать психическую деятельность, эмоциональную сферу и вегетативные функции. Как показывает опыт, пребывание рабочих в комнатах психологической разгрузки способствует снижению утомляемости, появлению бодрости, хорошему настроению и улучшению самочувствия.



5. Оптимизация процессов обучения и профессиональная подготовка человека, определяющая критерии профотбора, профобучения, тренировки и формирования коллектива.

Обучение — процесс приспособления и соответствующего изменения физиологических функций организма человека для наиболее эффективного выполнения конкретной работы.

6. Разработка методов защиты человека от эмоционального выгорания. Синдром эмоционального выгорания — это совокупность симптомов, характеризующих степень отсутствия психологической защиты, позволяющей исключить эмоции в ответ на психотравмирующие воздействия.

7. Определение экономического эффекта эргономического обеспечения.

Критерий "Максимум эффекта, минимум затрат" в теории систем является основой решения любой задачи, поэтому при проектировании систем "человек—машина" различной структурной сложности уровень финансовых инвестиций должен соответствовать целевому и функциональному назначению.

8. Инженерно-психологическое проектирование и оценка эффективности функционирования СЧМ. Проект деятельности должен выступать как основа решения задач построения СЧМ. Частными задачами являются определение целей, задач, структуры и методов оценки эффективности функционирования СЧМ при проектировании, производстве и ее эксплуатации.

9. Использование результатов исследований деятельности человека для виртуальной психологии.

*Виртуальная психология* — новое направление в психологии, изучающее взаимосвязи психологических феноменов и области деятельности, в кото-

рой взаимодействие объектов опосредованно электронными носителями информации [6].

Виртуальная психология опирается на общепсихологические методологические принципы. Она строится на вполне определенном философском базисе (виртуальная философия), имеет специфические теоретические модели, адекватную типу теоретических моделей схему эксперимента и собственную сферу практики. Виртуальная психология опирается на виртуальное состояние человека в период эмоционального подъема — на пике вдохновения, творческого подъема.

Таким образом, становление и развитие эргономики отражает объективные потребности общественного производства в синтезе достижений социально-экономических, естественных и технических наук применительно к задачам исследования и проектирования организации труда, повышения его эффективности и качества.

#### Список литературы

1. **Петухов Г. Б.** Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г. Б. Петухов, В. И. Якунин. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.
2. **Практикум** по инженерной психологии и эргономике / Под ред. Ю. К. Стрелкова. М.: Академия, 2003.
3. **Юдковский Э.** Искусственный интеллект как позитивный и негативный фактор глобального риска // Риски глобальной катастрофы. — Оксфорд, 2007.
4. **Белов С. В.** Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков и др.; Под общей редакцией С. В. Белова. 3-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 485 с.
5. **Introduction** to Human Factors Engineering by Cristopher D. Wickens et al, 2003. <http://www.proza.ru/texts/2007/03/22-285.html>
6. **Носов Н. А.** Виртуальный конфликт: виртуальная социология медицины // Труды Центра виртуалистики. Вып. 18. — М., 2002.

## ЧИТАЙТЕ В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ:

**Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Фашевская Т. Б.** Экологическое квотирование водопотребления крупным промышленным центром и стимулирование реформинга водоемких технологий в России.

**Шайдуров А. О.** Экологические риски нефтепродуктовых компаний.

**Алексеев В. А., Поникаров С. И., Исхаков Б. И., Алексеев С. В.** Оценка вероятного ущерба и затрат на локализацию и ликвидацию разлива нефтепродуктов.

УДК 652.382

**М. Н. Маркуш**, УРСА банк, г. Асбест,  
**А. И. Сидоров**, д-р техн. наук, проф.,  
**А. Б. Тряпицын**, канд. техн. наук, доц., **М. В. Белешева**,  
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

## Исследование возможности управления риском на основе нечеткой логики

*На основе предложенного подхода к управлению риском с использованием теории нечетких множеств и нечеткой логики разработана нечеткая модель управления риском с точки зрения срочности выполнения необходимых мероприятий, включающая два критерия оценки риска — уровень риска и скорость его изменения.*

**Ключевые слова:** риск, управление, нечеткие множества, нечеткий вывод, модель.

**Markush M. N., Sidorov A. I., Tryapitsyn A. B., Beleshova M. V. Research of risk management possibility on the fuzzy logic basis.**

*On the basis of the offered approach to risk management with use of the theory of fuzzy sets and the fuzzy logic the fuzzy model of risk management is developed from the viewpoint of urgency of performance of the necessary measures. It includes two criteria of risk estimation — a risk level and a rate of its change.*

**Keywords:** risk, management, fuzzy sets, fuzzy inference, model.

### Понятие риска при анализе безопасности человеко-машинных систем

В соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся формированием и действием вредных факторов, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического, а в ряде случаев и эстетического ущерба. При этом учитывается как частота, так и тяжесть последствий возможного неблагоприятного события. Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности как практически нереализуемую и перешел к концепции приемлемого риска.

Приемлемый риск является компромиссом между желанием достижения определенного уровня безопасности и практической возможностью его достижения. В соответствии с этой концепцией государством устанавливается максимальный уровень риска, выше которого риск подниматься не должен. Все ме-

роприятия, направленные на повышение безопасности, независимо от их стоимости считаются оправданными для поддержания величины риска ниже этого уровня. В случае невозможности обеспечить значение риска на предприятии ниже установленного государством уровня предприятие закрывается либо его деятельность приостанавливается. Наряду с этим, устанавливается минимальный уровень риска, к которому предприятию необходимо стремиться.

Минимальный уровень устанавливается исходя из того, что человек, работая на предприятии, может пострадать и от факторов, не связанных с процессом производства (чаще всего это различные воздействия природных факторов: землетрясение, оползень, извержение вулкана и т. д.). Уменьшать уровень риска на предприятии настолько, что он становится существенно ниже риска подобных факторов, нецелесообразно, поскольку общий риск при этом практически не уменьшается.

В диапазоне между верхним и нижним уровнем риска и происходит процесс управления риском на основе принципа "Условия труда должны быть настолько безопасны и безвредны, насколько это практически достижимо". Практическая достижимость определяется технологией, которая используется на предприятии, и экономическими возможностями предприятия. Управление риском — это часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий, опасности для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среде.

Необходимо отметить, что в целях гармонизации отечественной и европейской нормативной базы в нашей стране был разработан и утвержден целый ряд нормативных документов, согласно которым следует управлять риском. Анализ этих документов показал, что на сегодняшний день методы управления риском практически не разработаны.

Из всех видов риска, возникающих при техногенных нагрузках на окружающую среду, обычно главное внимание уделяется риску для здоровья и жизнедеятельности людей [1]. В данной статье рассмотрена непосредственно опасность для отдельного индивидуума — индивидуальный риск, т. е. веро-



ятность кого-либо из группы пострадать от воздействия данных условий труда за год или рабочий стаж [3].

Для практического применения теории управления риском необходимо знать его верхний и нижний уровни. В ряде стран Европы верхний уровень риска задан законодательно, в нашей стране этот уровень пока законодательно не задан. Фактически при получении верхнего уровня риска за "точку отсчета" обычно берется уровень риска, который "не замечается" или считается вполне допустимым в данной среде, коллективе, городе, стране. В настоящее время сложилось три подхода к оценке этой "точки отсчета" [5].

Наиболее широкое признание получил подход, основанный на статистической оценке риска, которому подвергается обычный человек в быту. Поскольку статистика несчастных случаев и травм для этих видов человеческой деятельности весьма богата, удается получить достаточно достоверные оценки таких рисков. Основной постулат здесь следующий: обобщенный уровень "бытовых" рисков принимается за "норму", поскольку человек воспринимает свои ежедневные риски как некую данность и зачастую их просто не замечает.

Второй постулат заключается в следующем: если риск травматизма, увечья, смерти на каком-либо производстве не больше, чем в быту, то он считается терпимым. В работе [5] приведена величина терпимого индивидуального риска гибели человека, которая получена на основе как отечественных, так и иностранных источников и составляет  $10^{-4}$ . Следует отметить, что уровень риска на многих отечественных предприятиях составляет более  $10^{-4}$ .

Поскольку опасности, которые можно разумно уменьшить или исключить, нельзя считать приемлемыми, то индивидуальный риск на предприятии должен быть как можно ниже по разумным соображениям практичности. Снижать риск ниже уровня  $10^{-8}$  (пренебрежимый уровень риска) на сегодняшний день на любых предприятиях считается неоправданным [5], так как при этом общий риск практически не изменится.

Таким образом, управление индивидуальным риском гибели человека предлагается проводить в диапазоне от  $10^{-8}$  до  $10^{-4}$ .

Существует целый ряд логико-вероятностных методов, позволяющих проанализировать риск и выбрать мероприятие, которое является оптимальным с точки зрения повышения безопасности. Однако эти методы неприемлемы для процесса управления риском, поскольку не позволяют оценить динамику риска при внедрении того или иного мероприятия. Таким образом, возникает необходимость в создании имитационной модели управления риском,

которая бы позволила выбирать управляющее воздействие для наиболее эффективного повышения безопасности на производстве, а также устанавливала бы сроки формирования этого воздействия. Создать модель, позволяющую управлять риском в человеко-машинной системе на основе классической теории управления, практически невозможно, поскольку невозможно формализовать действия человека с помощью интегро-дифференциальных уравнений и адекватно подобрать коэффициенты для этих уравнений. Вместе с тем любой человек, часто не подозревая об этом, управляет собственным индивидуальным риском. Приведем пример такого управления.

Перед переходом улицы в месте, где нет светофора, человек оценивает расстояние до машины и ее скорость. В случае если машина "рядом" и движется "быстро", риск высок (вероятность попасть под машину близка к 100 %), принимается решение подождать или решение "быстро" перебежать улицу. Если машина "далеко" и движется "медленно", риск попасть под машину небольшой — вероятность попасть под машину практически нулевая — человек "спокойно" переходит улицу. Если после начала движения человека через проезжую часть машина по-прежнему находится "далеко", но скорость ее приближения стала "быстрой", человек увеличивает свою скорость для снижения уровня риска попасть под машину. Если же после начала движения человека через проезжую часть машина находится "далеко" и движется "медленно", то может быть принято решение уменьшить скорость перехода улицы. Заметим, что величина риска попасть под машину может увеличиться при принятии подобного решения.

### Основные понятия теории нечетких множеств и нечеткого управления

Под *нечетким управлением* понимается область применения общей методологии теории нечетких множеств и нечеткой логики для решения практических задач управления. Нечеткое управление базируется не столько на использовании аналитических моделей, сколько на практическом применении знаний, которые можно представить в форме так называемых лингвистических баз правил. Нечеткое управление может использоваться в том случае, когда существует определенный опыт экспертов и его можно записать некоторым формальным образом [2].

*Нечеткое множество* представляет собой совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя с полной определенностью утверждать — принадлежит ли тот или иной элемент рассматриваемой совокупности данному множеству или нет. Другими словами, нечеткое множество отличается от обычного множества тем, что для всех



или части его элементов не существует однозначного ответа на вопрос: "Принадлежит ли этот элемент рассматриваемому множеству?" Ответ на этот вопрос можно дать лишь с большей или меньшей истинностью.

Функция, которая позволяет определить степень истинности высказывания "Элемент принадлежит рассматриваемому множеству" для любого элемента, называется *функцией принадлежности*. Значение функции принадлежности 1 соответствует 100 %-ной принадлежности элемента множеству, значение 0 означает, что элемент рассматриваемому множеству не принадлежит.

*Терм-множество лингвистической переменной* — это множество значений, каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной.

*Нечеткая переменная* определяется как кортеж  $\langle \alpha, X, A \rangle$ , где  $\alpha$  — наименование или название нечеткой переменной;  $X$  — область ее определения;  $A$  — нечеткое множество на  $X$ , описывающее возможные значения, которые может принимать нечеткая переменная.

Лингвистическая переменная определяется как кортеж  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , где  $\beta$  — наименование или название лингвистической переменной;  $T$  — базовое терм-множество лингвистической переменной;  $X$  — область определения нечетких переменных, которые входят в определение лингвистической переменной  $\beta$ ;  $G$  — процедура образования новых термов-множеств с помощью логических связок "И", "ИЛИ" и модификаторов "очень", "слегка";  $M$  — процедура задания на  $X$  нечетких переменных, а также соответствующих нечетких множеств для термов из процедуры  $G$ .

В примере, приведенном выше, скорость машины, скорость пешехода и расстояние до машины являются лингвистическими переменными, а понятия "быстро", "медленно" и т. д. являются терм-множеством соответствующей лингвистической переменной. Скорость машины и расстояние от нее до пешехода являются входными, а скорость движения пешехода — выходной лингвистической переменной. Связь входных и выходных лингвистических переменных осуществляется с помощью "базы правил". Переход от лингвистических переменных с их терм-множествами к конкретным численным значениям (например, скорость пешехода в момент начала перехода улицы должна составлять 4 км/ч) возможен с помощью нечеткой логики и систем нечеткого вывода.

### Основные понятия нечеткой логики

Нечеткая логика предназначена для формализации человеческих способностей к неточным или приближенным рассуждениям, которые позволяют

более адекватно описывать ситуации с неопределенностью. Классическая логика по своей сути игнорирует проблему неопределенности, поскольку все высказывания и рассуждения в формальных логических системах могут иметь только значение "истина" или значение "ложь" (0 или 1). В отличие от этого в нечеткой логике истинность рассуждений оценивается в некоторой степени, которая может принимать и другие значения, отличные от значений "истина" или "ложь".

Исходным понятием нечеткой логики является понятие элементарного нечеткого высказывания, т. е. повествовательного предложения, выражающего законченную мысль, относительно которой можно судить о ее истинности или ложности только с некоторой степенью уверенности [2]. В дальнейшем элементарные нечеткие высказывания будем обозначать, так же как и нечеткие множества, буквами  $A, B, C$ . Элементарные нечеткие высказывания иногда называют просто нечеткими высказываниями.

Содержательно неопределенность нечетких высказываний может иметь различную природу [2]. Так, например, неопределенность оценки истинности в высказывании "спортсмен имеет довольно высокий рост" связана с нечеткостью определения понятия "высокий рост", которое является нечеткой переменной. В высказывании "Завтра будет холодно" кроме определения нечеткости переменной "холодно" следует оценить истинность высказывания относительно некоторого момента в будущем.

Наиболее конструктивным направлением в нечеткой логике является нечеткое обобщение правил нечетких продукций, использующих нечеткие высказывания в форме означивания лингвистических переменных. В этом случае нечеткие высказывания могут комбинироваться с помощью нечетких логических операций [2].

Основными логическими операциями с нечеткими высказываниями являются: логическое отрицание, логическая конъюнкция (нечеткое логическое И), логическая дизъюнкция (нечеткое логическое ИЛИ), нечеткая эквивалентность и нечеткая импликация [2].

*Логическим отрицанием нечеткого высказывания  $A$*  называется унарная логическая операция, результатом которой является нечетким высказыванием, истинность которого по определению принимает значение [2]:

$$T(-A) = 1 - T(A). \quad (1)$$

Очевидно, что принятый в математической логике способ определять логические операции с помощью таблиц истинности не может быть использован в нечеткой логике.

*Логической конъюнкцией нечетких высказываний  $A$  и  $B$*  называется бинарная логическая операция, ре-



зультат которой является нечетким высказыванием, а истинность которого определяется по формуле [2]:

$$T(A \wedge B) = \min\{T(A), T(B)\}. \quad (2)$$

Логической дизъюнкцией нечетких высказываний  $A$  и  $B$  называется бинарная логическая операция, результат которой является нечетким высказыванием, а истинность определяется по формуле [2]:

$$T(A \vee B) = \max\{T(A), T(B)\}. \quad (3)$$

В общем случае для определения истинности результатов логической конъюнкции и логической дизъюнкции нечетких высказываний могут применяться и другие расчетные формулы. При этом исторически принято считать формулы (2) и (3) основой для определения степени истинности конъюнкции и дизъюнкции.

Нечеткой импликацией или просто импликацией нечетких высказываний  $A$  и  $B$  называется бинарная логическая операция, результат которой является нечетким высказыванием, истинность которого может принимать значения, определяемые по одной из следующих формул [2]:

Классическая нечеткая импликация, предложенная Заде

$$T(A \supset B) = \max\{\min\{T(A), T(B)\}, 1 - T(A)\}. \quad (4)$$

Нечеткая импликация, предложенная Мамдани

$$T(A \supset B) = \min\{T(A), T(B)\}. \quad (5)$$

Нечеткая импликация, предложенная Лукасевичем

$$T(A \supset B) = \min\{1, 1 - T(A) + T(B)\}. \quad (6)$$

Нечеткая импликация, предложенная Гогеном

$$T(A \supset B) = \min\{1, T(B)/T(A)\}, \text{ где } T(A) > 0. \quad (7)$$

Нечеткая импликация по формуле граничной суммы

$$T(A \supset B) = \min\{1, T(A) + T(B)\}. \quad (8)$$

Нечеткая импликация по формуле произведения

$$T(A \supset B) = \{T(A) \cdot T(B)\}. \quad (9)$$

Нечеткая импликация, предложенная Вади

$$T(A \supset B) = \max\{T(A) \cdot T(B), 1 - T(A)\}. \quad (10)$$

Нечеткая импликация, предложенная Брауэром

$$T(A \supset B) = \begin{cases} 1, & \text{если } T(A) \leq T(B) \\ T(B), & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (11)$$

Нечеткая импликация стандартной логики последовательностей

$$T(A \supset B) = \begin{cases} 1, & \text{если } T(A) \leq T(B) \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (12)$$

Приведенные выше формулы для определения истинности результатов нечеткой импликации можно

считать основными и далеко не исчерпывающими все предложенные для этой цели способы. Классическая нечеткая импликация находит наибольшее применение при решении прикладных задач и остается справедливой в случае обычных высказываний классической логики.

Нечеткая импликация играет важную роль в процессе нечетких логических рассуждений, так как в математической логике первый ее операнд (нечеткое высказывание) называется посылкой, а второй заключением [2].

### Правила нечетких продукций

В общем случае под правилом нечеткой продукции или просто нечеткой продукцией понимается выражение следующего вида [2]:

$$(i): Q; P; A \Rightarrow B, S, F, N, \quad (13)$$

где  $(i)$  — имя нечеткой продукции;  $Q$  — сфера применения нечеткой продукции;  $P$  — условие применимости ядра нечеткой продукции;  $A \Rightarrow B$  — ядро нечеткой продукции, в котором  $A$  — условие ядра (или антецедент);  $B$  — заключение ядра (или консеквент); " $\Rightarrow$ " — знак логической секвенции (или следования);  $S$  — метод или способ определения количественного значения степени истинности заключения ядра;  $F$  — коэффициент определенности или уверенности нечеткой продукции;  $N$  — постусловие продукции.

В качестве имени  $(i)$  нечеткой продукции может выступать та или иная совокупность букв или символов, позволяющая однозначным образом идентифицировать нечеткую продукцию в системе нечеткого вывода или базе нечетких правил.

Сфера применения нечеткой продукции  $Q$ , условие применимости ядра нечеткой продукции  $P$  и постусловие нечеткой продукции  $N$  определяются аналогично обычной нечеткой продукции.

Ядро нечеткой продукции  $A \Rightarrow B$  записывается в форме "ЕСЛИ  $A$ , ТО  $B$ ", где  $A$  и  $B$  некоторые выражения нечеткой логики, которые наиболее часто представляются в форме нечетких высказываний. При этом логическая секвенция интерпретируется как знак логического следования заключения  $B$  из условия  $A$ . В качестве выражений  $A$  и  $B$  могут использоваться составные логические нечеткие высказывания, т. е. элементарные нечеткие высказывания, соединенные нечеткими логическими связками, такими как нечеткое отрицание, нечеткая конъюнкция и нечеткая дизъюнкция.

Метод или способ  $S$  определения количественного значения степени истинности заключения  $B$  на основе известного значения степени истинности условия  $A$  в общем случае определяет так называемую схему или алгоритм нечеткого вывода в продукци-

онных нечетких системах и называется также методом композиции или методом активации [2].

Коэффициент определенности или уверенности нечеткой продукции  $F$  выражает количественную оценку степени истинности или относительный вес нечеткой продукции. Коэффициент уверенности принимает свое значение интервала  $[0, 1]$  и часто называется весовым коэффициентом правила продукции.

### Система управления риском на базе нечеткой логики

Для исследования возможности управления риском на основе систем нечеткого вывода рассмотрим индивидуальный риск гибели человека — частота гибели отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности, т. е. риск будет тождественен вероятности реализации смертельного несчастного случая с одним человеком в течение года [3].

Источником риска в любой человеко-машинной системе является недостаточная согласованность конструкции техники и возможностей человека (перегрузка оператора информацией, неправильное расположение органов управления, отсутствие блокировок, несоблюдение безопасных расстояний и др.), а также несовершенство техники, в результате которого происходит быстрое и неконтролируемое высвобождение энергии. Очень часто недостаточная согласованность конструкции техники и возможностей человека приводит к быстрому и неконтролируемому высвобождению энергии при вполне исправном состоянии техники.

Объектом риска в такой системе является человек.

Для осуществления управления индивидуальным риском в человеко-машинной системе необходимо:

- 1) проводить технические и организационные мероприятия, повышающие согласованность техники с возможностями человека;
- 2) проводить технические мероприятия, снижающие вероятность неконтролируемого высвобождения энергии.

Для управления риском на основе нечеткой логики необходимо составить нечеткую модель управления риском, критериями оценки которого является не только уровень риска, но и степень его изменения. Для этого строится дерево событий (или дерево отказов) и рассчитываются уровни риска на текущий момент ( $R$ ) и уровень риска через определенное время (один год) с учетом запланированных на год мероприятий ( $R_1$ ). Тогда степень изменения

риска будет  $S = \lg \frac{R_1}{R}$  в год.

Ряд мероприятий проводится сейчас на предприятиях независимо от существующего уровня риска, например, инструктажи по технике безопасности.

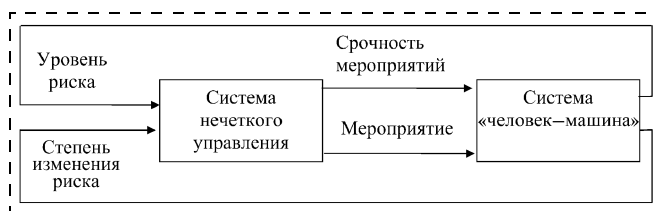


Рис. 1. Структурная схема системы управления риском

Даже если мероприятия на предприятии проводиться не будут, уровень риска не останется постоянным ввиду старения оборудования. При этом уровень риска может как повыситься, если оборудование исчерпало свой ресурс, так и понизиться, если за данный период была осуществлена "приработка оборудования". В руководстве [3] необходимость в дополнительных мероприятиях при тех или иных уровнях риска и при различной степени его изменения.

Для снижения уровня риска на отечественных предприятиях используются организационные и технические мероприятия. При этом после выбора мероприятия срочность его внедрения часто либо не указывается, либо задается на основе нормативных актов, без учета степени изменения риска. Рассмотрим в качестве примера структурную схему системы управления риском (рис. 1). Здесь для человеко-машинной системы мероприятие и его срочность будут входами, а уровень риска и степень его изменения — выходами. Мы формируем управляющее воздействие таким образом, чтобы добиться требуемого уровня риска.

Наиболее объективный выбор мероприятий и срочности их внедрения с учетом специфики конкретной человеко-машинной системы можно получить с помощью *системы нечеткого вывода*. Для этой системы входами будут уровень риска и степень его изменения, а выходами — мероприятия и их срочность. Выбор конкретных мероприятий — сложная задача. Для ее решения наряду с теорией нечетких множеств необходимо использовать элементы теории принятия решения. Решение этой задачи нужно рассмотреть в следующих статьях.

В рамках данной статьи будет рассмотрена система нечеткого вывода, имеющая два входа (уровень риска, степень изменения риска) и один выход (срочность мероприятий). Для формирования базы правил систем нечеткого вывода необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные [2]: входные — уровень риска и степень его изменения, а выходная — срочность мероприятий.

Рассмотрим систему нечеткого вывода для формирования управляющего воздействия. Срочность мероприятий будет содержать правила нечетких продукций следующего вида: если  $R$  есть ... и  $S$  есть ...,



**Правила нечетких продукций**

Риск $R$	Степень изменения риска $S$	Срочность мероприятий
Высокий	Нулевая (+), (-) Малая (+) Большая (+)	Немедленные
	Малая (-)	Средней срочности
	Большая (-)	<b>Несрочные</b>
Средний	Нулевая (+), (-)	Средней срочности
	Малая (+) Большая (+)	<b>Немедленные</b>
	Малая (-)	<b>Несрочные</b>
	Большая (-)	Мероприятия не нужны
Малый	Нулевая (-) Малая (-) Большая (-)	Мероприятия не нужны
	Нулевая (+)	<b>Несрочные</b>
	Малая (+)	Средней срочности
	Большая (+)	Немедленные

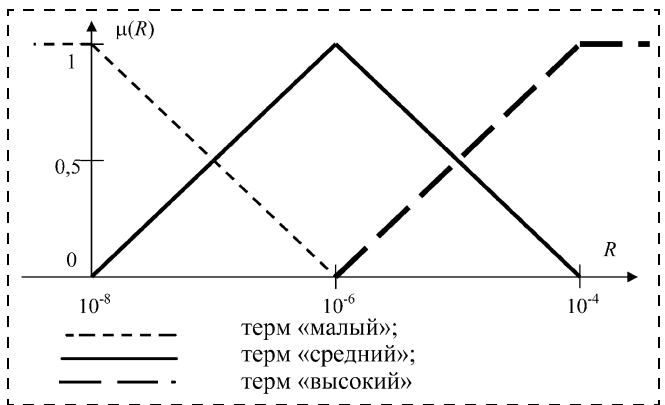
то срочность мероприятий есть ... . Правила сведены в таблице.

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной "Уровень риска" будем использовать множество  $T_1 = \{\text{малый, средний, высокий}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рис. 2.

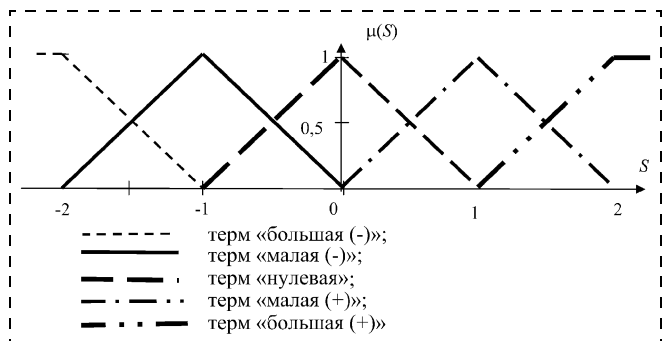
Формальное определение нечеткого множества не накладывает никаких ограничений на выбор конкретной функции принадлежности. Треугольная функция принадлежности является наиболее простой. Ее рекомендуют использовать в тех случаях, когда объект управления изучен недостаточно хорошо. Согласно работе [4] функция принадлежности треугольной формы является наиболее приемлемой для решения задач, связанных с анализом безопасности и прогнозированием ее уровня через определенный промежуток времени.

В качестве терм-множества второй лингвистической переменной "Степень изменения риска" будем использовать множество  $T_2 = \{\text{большая(-), малая(-), нулевая, малая(+), большая(+)}\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рис. 3. Здесь следует отметить, что в данном случае нулевая степень изменения риска не означает того, что риск не изменяется вообще. Она указывает на самую высокую степень истинности высказывания "риск остается постоянным", однако с меньшей степенью истинности риск может изменяться (см. рис. 3).

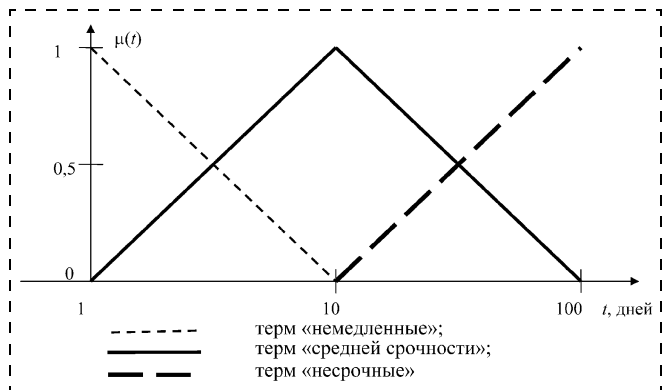
В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной "Срочность мероприятий" будем использовать множество  $T_3 = \{\text{немедленные, сред-$



**Рис. 2. Графики функции принадлежности для термов<sup>1</sup> входной лингвистической переменной "Уровень риска"**



**Рис. 3. Графики функции принадлежности для термов входной лингвистической переменной "Степень изменения риска"**



**Рис. 4. Графики функции принадлежности для термов выходной лингвистической переменной "Срочность мероприятий"**

ней срочности, несрочные} с функциями принадлежности, изображенными на рис. 4.

Следует отметить, что представленные выше нечеткие представления лингвистических переменных даны для того, чтобы проиллюстрировать работу системы нечеткого вывода для управления риском. При управлении риском на конкретном предпри-

<sup>1</sup> Здесь и далее применяем термин "терм" — сокращенный вариант термина "терм-множества".

ятии количество термов и их содержание будут во многом зависеть от специфики работы предприятия, а следовательно, могут отличаться от вышеприведенных.

Нами учтено, что внедрение мероприятий, направленных на повышение безопасности, — процесс, требующий определенного времени. В качестве минимального времени, которое необходимо для того, чтобы изменить риск, был выбран один день, что не противоречит практике работы большинства промышленных предприятий (за один день возможно проведение организационных мероприятий, выдача дополнительных СИЗ, проведение простейших технических мероприятий). Кроме того, при линейном характере изменения риска за один день уровень индивидуального риска изменится не более чем на 30 %, что вполне допустимо при самых неблагоприятных условиях (прогнозируемое увеличение в 100 раз уровня индивидуального риска за 1 год).

Для обеспечения корректной работы системы нечеткого вывода необходимо определиться как с минимальным, так и с максимальным значением "Срочности мероприятий". В качестве максимального значения "Прочности мероприятий" для удобства расчета были взяты 100 дней. В реальных условиях это значение будет определяться исключительно спецификой предприятия в плане мероприятий по повышению безопасности, а следовательно, может быть как больше, так и меньше.

Используя в качестве алгоритма нечеткого вывода алгоритм Мамдани [2], рассмотрим примеры его выполнения.

### Примеры системы управления риском на базе нечеткой логики

**Пример 1.** Уровень риска равен  $10^{-7}$ , степень его изменения положительная и равна 2 (уровень риска через год увеличится в 100 раз).

*Первым этапом* является формирование базы правил системы нечеткого вывода. Эта база сформирована и представлена в таблице.

*Вторым этапом* является переход от четких значений к нечетким. Для этого используется операция фазификация.

Фазификация, т. е. процесс нахождения функций принадлежности термов, первой входной лингвистической переменной приводит к значению истинности 0,5 для терма "малый" и терма "средний", а фазификация второй лингвистической переменной приводит к значению степени истинности 1 для терма "большая(+)" (рис. 5 и рис. 6).

*Третьим этапом* является агрегирование подусловий в правилах нечетких продукций.

Соответствующие подусловия используются в следующих правилах нечетких продукций (см. табл. 1):

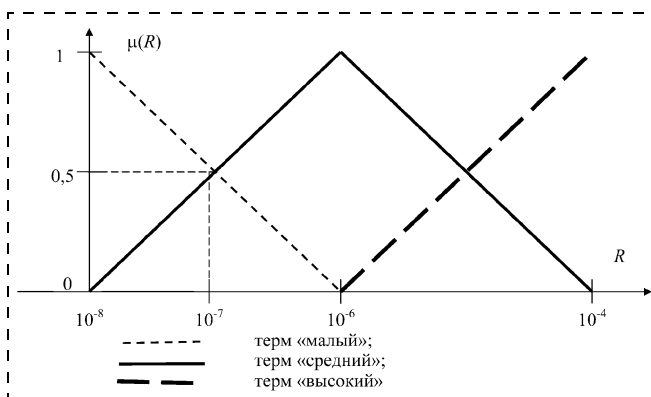


Рис. 5. Графики функции принадлежности для термов входной лингвистической переменной "Уровень риска" при  $R = 10^{-7}$

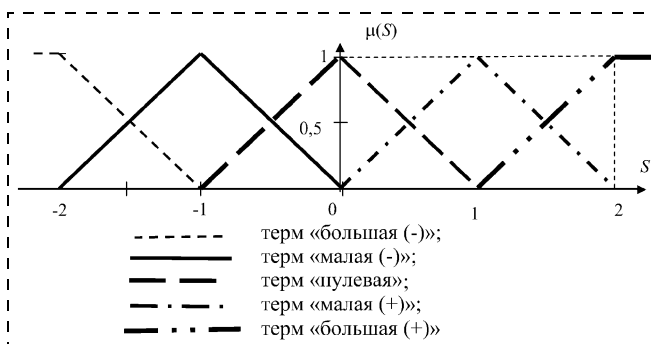


Рис. 6. Графики функции принадлежности для термов входной лингвистической переменной "Степень изменения риска" при  $S = 2$

1) если  $R$  "малый" и  $S$  "большая(+)", то мероприятия "немедленные";

2) если  $R$  "средний" и  $S$  "большая(+)", то мероприятия "немедленные".

Агрегирование подусловий, т. е. процедура определения степени истинности по каждому из правил, дает для обоих правил число 0,5 (логическая конъюнкция, или логическое И, дает минимальное значение).

*Четвертым этапом* является аккумуляция заключений правил нечетких продукций.

Аккумуляция заключений правил нечетких продукций с использованием операции max-дизъюнкции (логическое ИЛИ) приводит в результате к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рис. 7. Аккумуляция проходила следующим образом:

1) поскольку истинность того, что мероприятия "немедленные", составляет 0,5 для первого и для второго подусловия, на рис. 7 проводим линию параллельно оси  $t$ , проходящую через 0,5;

2) штрихуем область, ограниченную получившейся горизонтальной прямой и графиком функции принадлежности нечеткой переменной "Немедленные мероприятия" (рис. 7).



Пятым этапом является дефазификация выходных переменных.

Дефазификация выходной лингвистической переменной "Срочность мероприятий", т. е. процесс нахождения численного значения, осуществляется методом центра площади. Метод заключается в том, чтобы найти значение выходной переменной, которое делило бы заштрихованную площадь на рис. 7

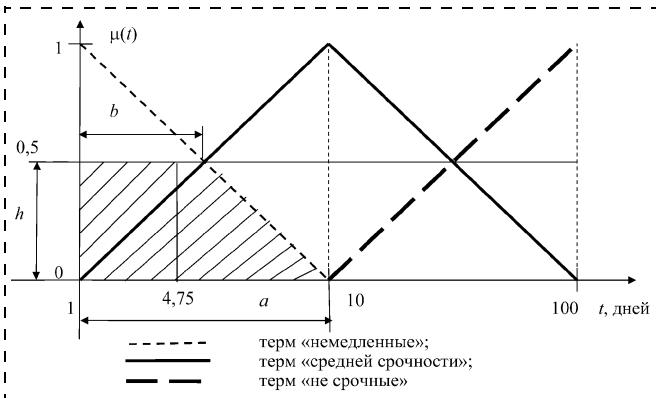


Рис. 7. Графики функции принадлежности для термов выходной лингвистической переменной "Срочность мероприятий" после аккумуляции для примера 1

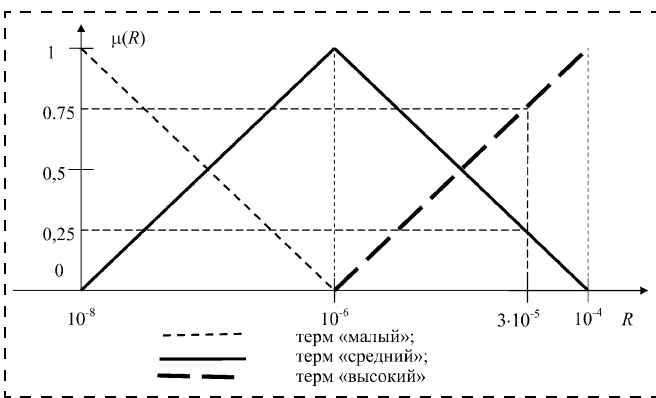


Рис. 8. Графики функции принадлежности для термов входной лингвистической переменной "Уровень риска" при  $R = 3 \cdot 10^{-5}$

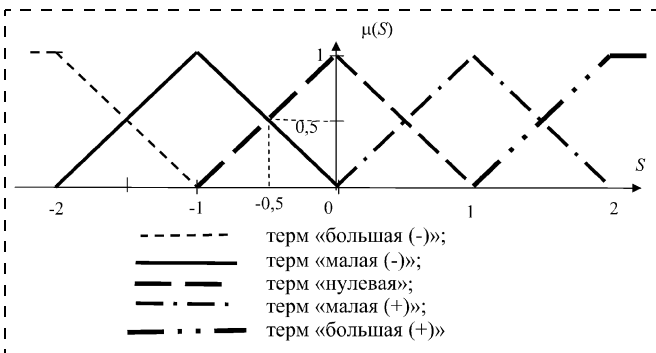


Рис. 9. Графики функции принадлежности для термов входной лингвистической переменной "Степень изменения риска" при  $S = -0,5$

пополам. Рассчитаем площадь заштрихованной фигуры на рис. 7 (необходимо обратить внимание на то, что срочность мероприятий, так же как уровень риска и степень изменения риска, имеет логарифмический масштаб):

$$s = \frac{(a+b)h}{2} = \frac{(1+4,75)0,5}{2} = 0,375.$$

Из рис. 7 видно, что при разбиении трапеции на две фигуры равной площади получим в качестве левой фигуры прямоугольник. Для нахождения времени, за которое мероприятия должны быть внедрены, нужно получившуюся площадь  $s$  разделить на 2, а затем на  $h$ .

$$t = s/2/h = 0,375/2/0,5 = 0,375.$$

Отсюда время, в течение которого должны быть внедрены корректирующие мероприятия, равно  $10^{0,375} = 4,75$  дня.

**Пример 2.** Уровень риска равен  $3 \cdot 10^{-5}$ , а степень изменения равна  $-0,5$  (уровень риска через год уменьшается в 3 раза).

В этом случае фазификация первой входной лингвистической переменной приводит к значению истинности 0,25 для термина "средний" и 0,75 для термина "высокий", а фазификация второй лингвистической переменной приводит к значению степени истинности 0,5 для термина "малая(-)" и 0,5 для термина "нулевая" (рис. 8, 9).

Соответствующие подусловия используются в следующих правилах нечетких продукций:

- 1) если  $R$  "средний" и  $S$  "нулевая", то мероприятия — "средней срочности";
- 2) если  $R$  "высокий" и  $S$  "нулевая", то мероприятия — "немедленные";
- 3) если  $R$  "средний" и  $S$  "малая(-)", то мероприятия — "несрочные";
- 4) если  $R$  "высокий" и  $S$  "малая(-)", то мероприятия — "средней срочности".

Агрегирование подусловий правила 1 дает в результате число 0,25, правила 2 — 0,5, правила 3 — 0,25, правила 4 — 0,5.

Аккумуляция заключений правил нечетких продукций с использованием операции max-дизъюнкции (логическое ИЛИ) приводит в результате к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рис. 10. Аккумуляция проходила следующим образом:

1) поскольку истинность того, что "мероприятия немедленные", составляет 0,5 для второго подусловия, на рис. 10 проводим линию параллельно оси  $t$ , проходящую через 0,5;

2) штрихуем область, ограниченную получившейся горизонтальной прямой и графиком функции принадлежности нечеткой переменной "немедленные мероприятия" (см. рис. 10);

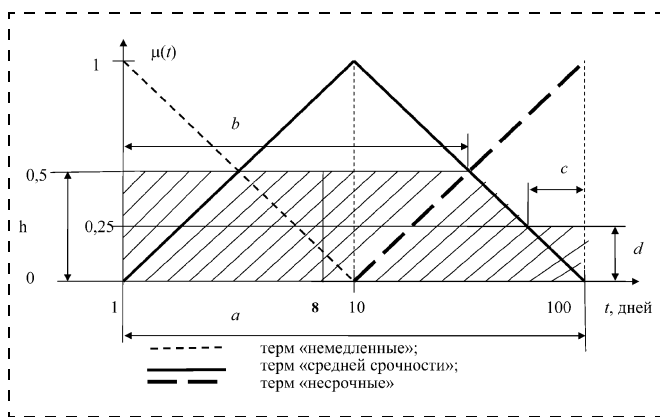


Рис. 10. Графики функции принадлежности для термов выходной лингвистической переменной "Срочность мероприятий" после аккумуляции

3) поскольку истинность того, что мероприятия средней срочности составляет 0,25 для первого подусловия и 0,5 для второго подусловия на рис. 10 проводим линию параллельно оси  $t$ , проходящую через 0,5 (максимальное из двух значений);

4) штрихуем область, ограниченную получившейся горизонтальной прямой и графиком функции принадлежности нечеткой переменной мероприятия "средней срочности" (рис. 10).

5) поскольку истинность того, что мероприятия "несрочные" составляет 0,25 для третьего подусловия, на рис. 10 проводим линию параллельно оси  $t$ , проходящую через 0,5;

6) максимального время, в течение которого мероприятие должно быть внедрено, для удобства расчета принято равным 100 дням.

7) штрихуем область, ограниченную получившейся горизонтальной прямой и графиком функции принадлежности нечеткой переменной "несрочные" и вертикальной прямой, проходящей через 100 (см. рис. 10).

Аккумуляция заключений правил нечетких продукций с использованием операции  $\max$ -дизъюнкции приводит в результате к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рис. 10.

Рассчитаем площадь заштрихованной фигуры на рис. 10 (необходимо обратить внимание на то, что срочность мероприятий задана в логарифмическом масштабе). При расчете разобьем получившуюся сложную фигуру на трапецию и треугольник:

$$S = \frac{(a+b)}{2} h + \frac{cd}{2} = \frac{2+1,5}{2} 0,5 + \frac{0,25 \cdot 0,25}{2} = 0,906.$$

Отсюда время, в течение которого должны быть внедрены корректирующие мероприятия, равно  $10^{0,906} = 8$  дней.

При управлении риском важно не только определить мероприятия, направленные на повышение безопасности, но и обоснованно рассчитать сроки их внедрения. На сегодняшний день сроки устанавливаются на основе опыта работы предприятия или на основе нормативных актов. Данный подход позволяет рассчитать срок внедрения мероприятия, направленного на повышение безопасности.

Подобным образом, с помощью систем нечеткого вывода, можно полностью формализовать процесс управления риском. Необходимо отметить, что человек, управляя собственной безопасностью, часто при принятии решений руководствуется мнениями других с его точки зрения авторитетных в этих вопросах людей. Системы нечеткого вывода наиболее близки к человеческой логике в процессе принятия решения, поэтому построение модели управления риском на основе нечеткой логики позволяет органично использовать не только имеющиеся статистические данные по несчастным случаям и отказам оборудования, но и экспертные оценки.

Процесс аккумуляции заключения правил нечетких продукций и дефазификации выходной лингвистической переменной можно автоматизировать. На сегодняшний день существует несколько программных продуктов, позволяющих провести моделирование системы с помощью нечеткой логики. Наиболее известные из них "MATLAB" и "fuzzy TECH".

#### Список литературы

1. **Оголихин А. С.** Теория риска в безопасности жизнедеятельности: Текст лекций / Под ред. А. И. Сидорова. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — 34 с.
2. **Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
3. **Р 22Л 766-03** Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. — М.: ГИГИЕНА ТРУДА, 2004. — 42 с.
4. **Номоконова О. В.** Применение нечетких множеств в оценке и прогнозировании опасных ситуаций: Дис. ... канд. техн. наук. — Челябинск, 2003. — 100 с.
5. **Безопасность России: Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Ч. 2** Анализ риска и проблем безопасности. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками // Ю. Л. Воробьев, Н. П. Лаверов, Н. А. Махутов и др. / Научный руководитель многоименного издания К. В. Фролов. — М.: МГД "Знание", 2006. — 751 с.



УДК 621.30

Э. П. Набоков, канд. техн. наук,  
ПФ "Междотраслевой орган сертификации "Сертиум", Москва

## Экспертиза промышленной безопасности Ех-оборудования\*

*Представлен алгоритм процесса оценки соответствия Ех-оборудования (технических устройств) в Системе экспертизы промышленной безопасности.*

*Показано, что на стадии разработки и подготовки к серийному производству оценка соответствия технических устройств требованиям промышленной безопасности осуществляется в рамках Системы сертификации ГОСТ Р по нормативным документам этой Системы, гармонизированным с международными нормами.*

*Приведены обоснования в доказательство того, что оформление документа "Разрешение на применение технического устройства" при внедрении новой техники и организации серийного производства, помимо заключения промышленной безопасности, выдаваемого экспертной организацией, в рыночной модели экономики является излишней процедурой, сдерживающей технический прогресс.*

**Ключевые слова:** экспертиза промышленной безопасности, оценка соответствия, алгоритм процесса, взрывозащищенное электрооборудование.

### *Nabokov E. P. Examination of industrial safety of Ex-equipment*

*The algorithm of process connected with the assessment of correspondence Ex-equipment (technical facilities) in the expert system of industrial safety is illustrated in this article.*

*The assessment of correspondence of technical facilities with the requirements of industrial safety is carried out at the stage of elaboration and preparation for the large-scale production according to the system of certification of all-Union State Standard in Russia using the normative documents which are coordinated with the international standards.*

*The registration of the document "Permission for using the technical equipment" during the application of new equipment and organization of large-scale production is considered to be superfluous in the market economy besides confinement of industrial safety which is given by the expert organization.*

**Keywords:** expert of industrial safety, assessment of correspondence, algorithm of process, flame-proof (electric) equipment.

Экспертиза промышленной безопасности Ех-оборудования (технических устройств), применяемого на опасных производственных объектах, проводится экспертной организацией в целях подтверждения соответствия параметров взрывозащиты и электробезопасности требованиям промышленной безопасности, установленным национальными стандартами, гармонизированными с международными нормами.

Ех-оборудование для взрывоопасных сред, содержащих горючие газы, пары и туманы, а также горючие пыли, включает оборудование следующих объектов [1]:

- автозаправочных станций или бензоколонок;
  - нефтеочистительных заводов, нефтяных вышек и нефтеперерабатывающих заводов;
  - предприятий химической переработки;
  - полиграфической, бумажной и текстильной промышленности;
  - операционных в больницах;
  - топливных заправок самолетов и ангаров;
  - производства защитных покрытий;
  - угольных шахт;
  - станций очистки сточных вод;
  - газопроводов и газораспределительных центров;
  - транспортировки и хранения зерна;
  - участков обработки древесины;
  - сахарорафинадных заводов;
  - участков шлифовки металлических поверхностей, в частности, где присутствует алюминиевая пыль и частицы. Для того чтобы соответствовать основным требованиям безопасности Директивы АТЕХ (94/9/ЕС), оборудование и компоненты должны быть оценены изготовителем с точки зрения воспламенения окружающей взрывоопасной среды, в которой предполагается применение этого оборудования.
- Требования к конструкционным свойствам оборудования и его компонентов, предназначенных для применения в подземных выработках шахт и рудников, в условиях взрывоопасных сред рудничного газа и (или) горючей угольной пыли как самостоятельные изделия или как комплектующие, определены в международных стандартах IEC и EN.

\* Ех-оборудование — общий термин, применяющийся к Ех-изделиям (устройствам), компонентам и системам. Ех-изделие (устройство): изделие, которое полностью или частично применяется для использования электрической энергии и включающее один или более видов взрывозащиты для условий потенциально взрывоопасной среды.



Общие требования к конструированию, испытаниям и маркировке взрывозащищенного электрооборудования и Ех-компонентов установлены в Российских национальных стандартах ГОСТ Р 51330, 52350, 61241, гармонизированных с международными нормами ИЕС.

Требования к конструкционным свойствам неэлектрического оборудования и его компонентов, предназначенных для применения в подземных выработках шахт и рудников в условиях взрывоопасных сред, установлены в европейских стандартах серии EN 13463, также поддерживающих Директиву АТЕХ, на основе которых в настоящее время разрабатываются гармонизированные Российские национальные стандарты.

Оценка соответствия требованиям промышленной безопасности электрического и неэлектрического оборудования для взрывоопасных сред в России осуществляется согласно указанным национальным стандартам в Системе экспертизы промышленной безопасности и Системе сертификации ГОСТ Р. Порядок проведения работ устанавливается нормативными документами обеих систем.

В статье анализируется согласованность двух систем оценки соответствия Ех-оборудования в рамках Федерального закона [2].

Анализ экспертной деятельности удобно осуществить на основе процессного подхода [3].

Экспертиза промышленной безопасности технических устройств в процессном представлении осуществляется в соответствии с блок-схемой алгоритма процесса, показанной на рисунке, подробные пояснения к которой даны далее.

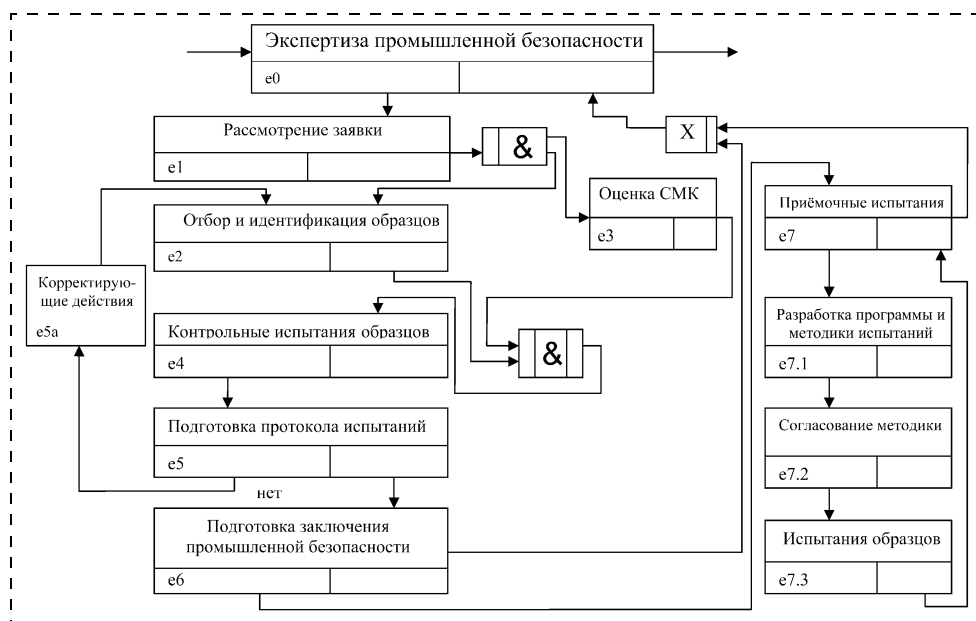
Согласно п. 20.2 руководства [4] экспертная организация должна рассматривать документацию в составе:

- инструкции по монтажу и эксплуатации;
- схемы электроснабжения, принципиальных электрических схем управления, автоматизации, защиты и сигнализации;
- актов расследования аварий за период эксплуатации;
- отчетов о ревизии, наладке и испытаниях.

Как следует из перечисленного, экспертиза осуществляется на основании оценки соответствия требованиям промышленной безопасности технических устройств требованиям правил эксплуатации технических устройств, что вполне соответствует ПП. 20.1; 20.2; 18.5 РД 05-432-02 [4], регламентирующим экспертизу промышленной безопасности технических устройств, находящихся в стадии эксплуатации, принимая во внимание, что согласно п. 18.5 РД 05-432-02 [4] экспертиза осуществляется, как правило, с выездом на место, при этом проводится наблюдение за ходом работ и комплексная проверка:

- состава и компетентности сотрудников;
- приборного оборудования и состояния испытательных средств;
- наличия нормативно-технической документации по промышленной безопасности;
- наличия и работоспособности системы производственного контроля над состоянием опасных производственных объектов.

Иначе выглядят процедуры экспертизы промышленной безопасности опытных образцов новой техники или оборудования (в том числе импортного), предназначенного для применения на опасных производственных объектах.



**Блок-схема алгоритма процесса экспертизы промышленной безопасности технических устройств.**  
В блок-схеме используются следующие обозначения:

- процесс;
- жесткая взаимосвязь процессов;
- Входные перекрестки:**
  - Все входящие процессы должны быть закончены одновременно, чтобы начался следующий процесс.
  - Только один процесс должен быть закончен, чтобы начался следующий процесс.
- Выходные перекрестки:**
  - Все процессы должны быть начаты после окончания предыдущего процесса.



На стадии подготовки к серийному производству технических устройств выполнение работ, регламентируемых п. 18.5 РД 05-432-02 [4], на месте невозможно, все необходимые проверки и испытания осуществляются сертификационным испытательным центром в рамках Системы сертификации ГОСТ Р по нормативным документам этой системы, гармонизированным с международными нормами МЭК [5].

Процедуры экспертизы согласно алгоритму процесса, представленному на рисунке, начинаются с подачи и рассмотрения заявки на проведение работ (процесс е1). При выполнении процесса е1 осуществляется предварительная экспертиза рабочей документации, представляемой заявителем вместе с заявкой на проведение работ и декларацией о соответствии технических устройств показателям назначения. Выходом процесса е1 являются решение по заявке, содержащее условия проведения работ в соответствии с установленными процедурами, протокол экспертизы рабочей документации, программа испытаний.

По завершении процесса е1 одновременно могут быть начаты процессы е2 и е3, входом для которых является решение по заявке. Процессы е2 и е3 должны быть закончены одновременно, чтобы начался процесс е4, выходом которого являются отчеты по видам испытаний, предусмотренным программой. Ответственным за выполнение процесса е4 является руководитель аккредитованной в Системе ГОСТ Р испытательной лаборатории.

Выходом процесса е5 является протокол испытаний с приложениями, подготовленный в соответствии с Руководством по качеству испытательной лаборатории. В случае отрицательных результатов заявитель может предпринять корректирующие действия (процесс е5а) по обеспечению взрывозащиты технического устройства.

Протокол испытаний может быть представлен заявителю по его просьбе. В случае получения отрицательных результатов испытаний процесс завершается выдачей заявителю только протокола испытаний.

Входом процесса е6 являются протокол испытаний, акт о результатах анализа состояния производства (оценки СМК\* завода-изготовителя), выходом — заключение экспертизы промышленной безопасности технического устройства. Ответственным за выполнение процесса е6 является руководитель Органа по сертификации (руководитель экспертной организации).

На основании изложенного очевидно, что подготовка заключения экспертизы промышленной безопасности технического устройства, предлагаемого к серийному производству, рассматриваемая как этап процесса экспертизы промышленной безопасности, в действительности осуществляется в рамках

\* СМК — система менеджмента качества.

Системы сертификации ГОСТ Р аккредитованными испытательными лабораториями и органами сертификации по национальным стандартам безопасности, гармонизированным с международными нормами, с проведением испытаний и оценкой технических устройств в соответствии с этими нормами.

Входом процесса е7 являются заключение экспертизы промышленной безопасности, образцы для приемочных (эксплуатационных) испытаний, разрешение на проведение испытаний в промышленных условиях [6]. Выходом процесса е7 является акт приемочных испытаний технического устройства.

Ответственным за выполнение процесса е7 является руководитель предприятия — разработчика технического устройства.

При выполнении процесса е7 Ростехнадзор (Территориальный орган Ростехнадзора) участвует в выдаче разрешения на проведение приемочных испытаний, в согласовании методики проведения приемочных (эксплуатационных) испытаний согласно Руководству [6] участвует экспертная организация, выдавшая заключение экспертизы промышленной безопасности. Все остальные этапы выполняются организацией-разработчиком и предприятием — изготовителем технического устройства.

Выходы процессов е6 и е7 в виде заключения промышленной безопасности и акта приемочных испытаний являются достаточным основанием для подтверждения соответствия требованиям промышленной безопасности технического устройства, предназначенного для применения на опасном производственном объекте, согласно п. 20.2 РД 05-4332-02 [4].

Достаточность оценок определяется тем, что при подготовке заключения промышленной безопасности в испытательном сертификационном центре во всех случаях проводятся контрольные испытания технических устройств (Ех-оборудования) в объеме сертификационных испытаний по проверке средств взрывозащиты.

Поэтому оформление при внедрении новой техники (образцы серийного производства) помимо заключения промышленной безопасности дополнительного документа "Разрешения на применение технического устройства на опасном производственном объекте", как это делается в настоящее время [7, 8], с установившейся практикой оплаты за оформление является излишней формальной процедурой, не соответствующей требованиям статьи 3 закона [2] и сдерживающей технический прогресс.

Анализ "Разрешений на применение", выданных Ростехнадзором за последние годы организациям-заявителям, подтверждает это обстоятельство. В качестве основания выдачи в них указываются сертификат соответствия, заключение промышленной безопасности, акт эксплуатационных (приемочных) испытаний, что неоспоримо. Однако в отдельных случаях в качестве основания выдачи в "Разреше-

нии на применение" также указывается техническая документация, акт результатов анализа состояния производства, протокол сертификационных испытаний, что нельзя считать корректным, так как основанием выдачи может служить протокол экспертизы технической документации, а не сама документация, что касается остальных перечислений, то они входят в процедуры выдачи сертификата соответствия Системы сертификации ГОСТ Р и уже учтены в "Разрешении на применение" ссылкой на сертификат соответствия.

Аналогичным образом нельзя считать корректной запись в "Разрешении на применение" в разделе "Условия применения" о том, что "внесение изменений в техническую документацию и конструкцию технического устройства возможно по согласованию с Ростехнадзором". Согласование может осуществлять только аккредитованная испытательная организация, которая любые сомнения в исполнении и функционировании взрывозащиты может проверить исключительно методом испытаний, как это принято в международной практике и Системе сертификации ГОСТ Р.

Производимые аккредитованной испытательной организацией проверки и испытания технических устройств (контрольные, сертификационные) на этапах жизненного цикла продукции, используемые при оформлении сертификата соответствия в Системе сертификации ГОСТ Р или заключения экспертизы промышленной безопасности, при наличии положительных результатов приемочных испытаний (акт приемочных испытаний) являются достаточным подтверждением соответствия требованиям промышленной безопасности для принятия решения о возможности применения технических устройств на опасном производственном объекте без излишней повторной экспертизы перечисленных документов и необходимости оформления "Разрешения на применение технического устройства".

В заключение следует отметить следующее.

Система экспертизы промышленной безопасности нуждается в существенной корректировке в плане рационального взаимодействия с Системой сертификации ГОСТ Р, которая гармонизирована с международными правилами и нормами оценки соответствия Ех-оборудования согласно положениям закона [2] и принятой рыночной модели экономики.

Одним из основных направлений совершенствования Системы экспертизы промышленной безопасности является четкое разделение ее сферы деятельности от Системы сертификации, как это представлено в Правилах [9], исключение дублирования в функциях и использовании нормативных документов Системы сертификации ГОСТ Р.

Заключения промышленной безопасности должны оформляться экспертными организациями периодически на технические устройства (Ех-оборудование),

находящиеся в эксплуатации в порядке надзора за безопасной эксплуатацией технических устройств в промышленных условиях на основании проверок на месте в соответствии с п. 18.5 РД 05-432-02 [4], надзора за соблюдением требований, гармонизированных с международными нормами национальных стандартов [10, 11, 12, 13] согласно статьям 4 и 7, пункту 8 закона [2], что соответствует реальному контролю безопасности применения технических устройств на опасных производственных объектах.

Своды правил, являющиеся документами в области стандартизации, такие как правила устройства электроустановок, правила технической эксплуатации и т. п., должны быть приведены в соответствии с ГОСТ Р [10, 11, 12, 13] согласно статье 4, пункту 2 закона [2], статье 3, пункту 2 закона [14], что служит в комплексе с гармонизацией национальных стандартов с международными нормами безопасности, предпосылками выполнения принятых Россией международных обязательств при вхождении в Схему МЭКЕх, нормативной основой для предстоящего вступления в ВТО.

#### Список литературы

1. **ИЕСЕх 01-2005**, Ed. 2. Схема сертификации МЭК по стандартам для оборудования, применяемого во взрывоопасных средах (Схема МЭКЕх). — Основные Правила.
2. **ФЗ "О техническом регулировании"** от 27.12.02г. № 184-ФЗ (В редакции ФЗ от 01.05.2007г. № 65).
3. **ГОСТ Р ИСО 9001—2001** Системы менеджмента качества. Требования.
4. **РД 05-432-02** Положение о проведении экспертизы промышленной безопасности в угольной промышленности.
5. **Набоков Э. П.** Сертификация взрывозащищенного электрооборудования как процесс // Методы оценки соответствия. — 2006. — № 11.
6. **РД 03-41-93** Инструкция о проведении эксплуатационных испытаний новых образцов.
7. **ПБ 03-246-98** Правила проведения экспертизы промышленной безопасности.
8. **РД 03-485-02** Положение о порядке выдачи разрешений на применение технических устройств на опасных производственных объектах.
9. **ПБ 03-538-03** "Правила сертификации электрооборудования для взрывоопасных сред", Утв. Пост. Госстандарта и Госгортехнадзора от 19.03.03г. № 28/10, рег. № 4440 в Минюсте от 23.04.03 г.
10. **ГОСТ Р 52350.14-2006** (МЭК 60079-14:2002) Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 14. Электроустановки во взрывоопасных зонах (кроме подземных выработок).
11. **ГОСТ Р 52350.17-2006** (МЭК60079-17:2002) Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 17. Проверка и техническое обслуживание электроустановок во взрывоопасных зонах (кроме подземных выработок).
12. **ГОСТ Р 51330.18-99** (МЭК60079-19-93) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 19. Ремонт и проверка электрооборудования, используемого во взрывоопасных газовых средах (кроме подземных выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ).
13. **ГОСТ Р МЭК 61241-1-2-99** Электрооборудование, применяемое в зонах, опасных по воспламенению горючей пыли. Часть 1. Электрооборудование, защищенное оболочками и ограничением температуры поверхности. Раздел 2. Выбор, установка и эксплуатация.
14. **ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"** № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. (В редакции Федеральных законов от 07.08.2000 г. № 122-ФЗ, от 10.01.2003 г. № 15-ФЗ).

УДК 502.7:502.55

А. А. Зуйкова, канд. техн. наук, И. В. Семин, асп.,  
Тульский государственный университет

## Описание математических моделей распространения выбросов вредных веществ при разрыве трубопроводов

*Рассмотрен вопрос моделирования в области экологии, в том числе моделирования распространения газовых выбросов в атмосфере при авариях на трубопроводах. Описаны различные модели распространения загрязнений в атмосферном воздухе, приведена их классификация и сравнительная характеристика.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, вредные вещества, трубопроводный транспорт, загрязнение атмосферы.

*Zuykova A. A., Semin I. V. Description of mathematical models distribution of emissions harmful substances at break of pipelines*

*In article the question of modelling is considered in the field of ecology, including modelling of distribution of gas emissions in an atmosphere at failures on pipelines. Various models of distribution of pollution in atmospheric air are considered, their classification and the comparative characteristic is resulted.*

**Keywords:** mathematical modelling, harmful substances, pipeline transport, pollution of an atmosphere.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) России является одной из главных отраслей экономики. Именно за счет валютной выручки от продажи энергоносителей странам-импортерам производится формирование основной доходной части бюджета страны. Поэтому от надежности функционирования ТЭК зависит уровень жизни каждого гражданина страны.

Одним из важных компонентов ТЭК являются системы магистральных газопроводов (МГ) высокого давления, транспортирующих природный газ от места добычи до потребителя. Единая система газоснабжения Российской Федерации (ЕСГ) имеет более 150 тыс. км МГ и отводов, около 50 тыс. км составляют МГ диаметром 1420 мм, природный газ по которым транспортируется 251 компрессорной станцией с 689 компрессорными цехами. Все это говорит об огромных размерах и сложности системы ЕСГ.

Основной парк МГ имеет срок эксплуатации свыше 30 лет. Это является основной причиной

участившихся в последнее время аварийных разрушений трубопроводов. Разрывы МГ приводят к массовым выбросам природного газа в атмосферу с последующим образованием легко воспламеняемой метановоздушной смеси. Анализ статистических данных по авариям на российских МГ показывает, что в 80 % случаев разрыв МГ сопровождается интенсивным пожаром. При разрыве МГ, находящегося в непосредственной близости от населенного пункта, возможный пожар угрожает жизни людей, промышленным и жилым зданиям. Помимо пожара массовый выброс природного газа при разрыве МГ оказывает вредное воздействие на людей и окружающую среду. В последнее время вся мировая научная общественность уделяет большое внимание проблеме выбросов метана, способствующих образованию парникового эффекта и влияющих на климат Земли.

Основные факторы риска при возникновении аварий на трубопроводах (только на магистральных трубопроводах в период с 1992 по 2001 год произошло 545 аварий, в 2004 г. в России произошло 48 таких аварий, в 2005 — 45, среднегодовой уровень аварийности составляет 50...60 аварий и не имеет тенденции к снижению) выглядят так: интенсивное развитие коррозионных процессов, связанное с постепенным разрушением пленочного изоляционного покрытия на газопроводах; увеличение случаев несанкционированных подключений (прежде всего в Республике Дагестан и Чеченской Республике, Нижегородской, Самарской, Саратовской областях, в Краснодарском и Ставропольском краях); а также высокий процент брака, допущенного при проведении строительного-монтажных работ [1].

Риски другого вида обусловлены отсутствием эффективной системы технического надзора за соблюдением проектных решений в период интенсивного строительства объектов магистрального трубопроводного транспорта, т. е. еще в 1970—80 гг. Основной причиной смертельного травматизма на объектах магистрального трубопроводного транспорта являются грубые нарушения требований промышленной безопасности руководством и персоналом компании в процессе эксплуатации, техни-

ческого обслуживания и ремонта трубопроводов и оборудования.

Похожие проблемы характерны для трубопроводов других отраслей ТЭК, транспортирующих токсичные, воспламеняемые, ядовитые, радиоактивные и другие опасные для человека и окружающей среды жидкости и газы. Как правило, проектные сроки эксплуатации большинства трубопроводных систем в настоящее время либо заканчиваются, либо уже исчерпаны.

Прогнозирование распространения загрязняющих веществ в воздушной среде при разрыве трубопроводов является очень актуальным на сегодняшний день. В первую очередь это относится к моделям загрязнения атмосферы, где явления переноса и трансформации загрязняющих веществ происходят наиболее динамично.

Моделированию в области экологии, в том числе распространения газовых выбросов в атмосфере при авариях на трубопроводах, посвящено большое количество как отечественных, так и иностранных книг. Созданы разнообразные модели, учитывающие различные факторы и определяющие специфичность их использования.

Практическое применение наиболее совершенных из наукоемких моделей, предназначенных для оценки и регулирования качества окружающей среды, сдерживается в основном тем, что не развита инфраструктура их использования. Также не хватает данных для полноценного моделирования и отсутствует информационная инфраструктура, которая могла бы обеспечить доступ к исходным данным и позволила бы наладить эффективный обмен информацией. В экологических службах недостаточно кадров, способных квалифицированно работать с современными моделями и программно-аппаратными средствами, используемыми в задачах анализа и прогноза состояния окружающей среды.

Моделирование распространения примесей в атмосферном воздухе промышленного города требует комплексного учета многих факторов, влияющих на качество атмосферы. Каждый из этих факторов имеет свои специфические особенности, что приводит к необходимости использования разных математических моделей и баз данных.

Математические модели должны отвечать определенным требованиям. К основным из них относятся [2]:

— быстрота реализации расчетов по моделям в соответствии со скоростью протекания контролируемых процессов;

— максимальное использование имеющихся в системе исходных данных о технологическом процессе предприятия и источниках негативного воздействия на среду;

— ориентация на достаточно бедную с точки зрения ее пространственной и временной детальности измерительную информацию;

— устойчивость к неточностям измерительных данных, вызванным погрешностями измерений;

— адекватность общей оценки экологической обстановки, особенно с точки зрения степени опасности для населения.

Математические модели можно разделить на две категории: энергетические и гидродинамические модели.

Приведем четыре основных направления, в которых развивалось моделирование распространения газообразных примесей в атмосфере при разрыве трубопроводов [3].

1. Использование статистических моделей распространения, основанных на функции распределения Гаусса. Данное направление заключается в использовании моделей распространения, предназначенных для ровной подстилающей поверхности, модифицированных путем введения эмпирических коэффициентов, учитывающих возможное перераспределение концентрации в застойных зонах вблизи зданий и сооружений.

2. Моделирование течений в уличных "каньонах" на основе решения транспортно-диффузионных уравнений.

3. Физическое моделирование в аэродинамических трубах. Эти эксперименты дают возможность оценить некоторые особенности распределения примеси в условиях застройки для таких метеорологических условий, которые можно с той или иной точностью воспроизвести в аэродинамической трубе. При этом в трубах невозможно соблюсти подобие течения по достаточному набору критериев, например, число Рейнольдса одновременно с числом Росби. В то же время такой метод позволяет определить некоторые необходимые для моделирования параметры и дает возможность сравнения модели с измерениями, например, распределение воздушных потоков по улицам при различных направлениях ветра.

4. Построение моделей на основе комплексного подхода: сравнительного анализа результатов натуральных экспериментов, результатов численного моделирования и физического моделирования. При этом проводится анализ результатов натуральных экспериментов с результатами численного и физического



моделирования с последующим построением параметрических моделей распределения примеси в уличных каньонах в зависимости от метеоусловий: скорости и направления ветра, температурной стратификации атмосферы, влажности и т. п.

Транспортные модели впервые в нашей стране стали разрабатываться в 60-е годы XX века в Главной Геофизической Обсерватории (ГГО) под руководством доктора Берлянда.

Методы прогнозирования загрязнения атмосферы при авариях на трубопроводах можно классифицировать на три группы [4]: 1) эвристические; 2) прогнозные модели; 3) статистические.

Эвристические методы включают построение интуитивных прогнозных моделей, которые формируются экспертами на основе целевой установки на выполнение прогноза, предоставляемой эксперту информации, опыта, интуиции и знаний эксперта.

Аналитическими методами прогнозные модели получают в тех случаях, когда известны общие закономерности развития процесса, его общая структура, важнейшие аналитически выраженные функциональные связи, имеется опытная (контрольная) выборка, позволяющая проверить работоспособность модели.

К статистическим относятся методы, основу которых составляет формирование стохастических моделей прогнозирования. Предпосылкой применения таких методов является наличие необходимых статистических данных, характеризующих период ретроспекции, и сведений, необходимых для определения модели прогноза. Широкое применение в прогнозировании статистических методов объясняется тем, что предметом статистики служит изучение методов выявления закономерностей массовых процессов.

Для долгосрочного прогнозирования наиболее часто применяются расчетные (аналитические, аппроксимационные) модели, полученные на основе решения уравнений турбулентной диффузии. Это — модели "факела", "ящика", конечно-разностные. Эти модели положены в основу "Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" (ОНД-86), широко используемой для инженерных расчетов и реализованной в ряде программных комплексов для расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Для оперативного прогнозирования широкое распространение получили статистические модели линейной и нелинейной регрессии. Их несомненным преимуществом является простота реализации и

алгоритмизации. Основное ограничение применения данных моделей — отсутствие непосредственного учета физических особенностей процесса загрязнения воздуха, вследствие чего они характеризуются невысокой (хотя во многих случаях и приемлемой) точностью прогнозирования.

Для оперативного прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха при аварийных залповых выбросах следует использовать расчетные (аналитические) модели — модели "клубка", применяемые для прогнозирования распространения примесей от мгновенных точечных источников.

Выбор конкретной модели (или моделей) определяется в конечном итоге целями прогнозирования и постановкой решаемой задачи прогнозирования.

**Модель, используемая в управлениях МЧС [5].** Основным достоинством этой модели является простота методов, достаточная, чтобы их можно было реализовать "вручную".

Использование персональных ЭВМ позволяет реализовать гораздо более сложные модели. Поэтому для этой модели можно указать направления ее совершенствования.

Во-первых, модель дает только внешний контур опасной зоны, в которой токсодоза превышает пороговое значение. Распределение токсодозы по территории и во времени имеет большую практическую значимость. Такое распределение для ряда последовательных моментов времени можно было бы изображать на карте местности линиями равной токсодозы.

Во-вторых, следует учитывать, что при распространении ядовитых веществ по воздуху они не только разбавляются за счет перемешивания с чистым воздухом, но и поглощаются поверхностью земли (особенно растительностью) или воды, а также вымываются (осаждаются) из атмосферы с дождем или снегом. Эти эффекты, меняющиеся от сезона к сезону, существенно неоднородны по пространству, поскольку неоднородна территория, окружающая место аварии, и по времени (меняется интенсивность осадков).

Существенный прогресс может быть достигнут за счет более совершенного метеорологического обеспечения модели. Здесь же следует отметить особую сложность штилевых условий, причем как в модели, используемой управлениями МЧС, так и в наиболее совершенных моделях. Поэтому по возможности желательно выбирать ветреную погоду для работ по транспортировке ядовитых веществ.

Так как основную угрозу населению представляют тяжелые газы, на распространение которых существенно влияет сила тяжести, то при решении выше упомянутых задач следует также учитывать рельеф местности.

Для совершенствования модели возможна замена токсодозы на иные параметры загрязнения, более адекватно учитывающие влияние ядов на человека.

**Модель Паскуилла—Гиффорда [6].** Модель распространения примесей в атмосфере, созданная Паскуиллом и Гиффордом, является эмпирической моделью и рекомендована для расстояний до 10 км. В ее основе лежит представление концентрации примеси, выбрасываемой непрерывным точечным источником в атмосфере, как струи с гауссовыми распределениями по вертикали и в поперечном к ветру направлении:

$$q(x, y, z) = \frac{G}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} f_F f_W \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right\},$$

где  $z, y, x$  — декартовы координаты, ось  $z$  — вверх, ось  $x$  — по ветру;  $G$  — мощность источника выброса;  $q$  — концентрация примеси в данной точке пространства;  $u$  — скорость ветра, усредненная по слою перемешивания;  $\sigma_y, \sigma_z$  — вертикальная и поперечная дисперсии облака примеси;  $f_F, f_W$  — поправки на обеднение облака за счет сухого осаждения примеси и ее вымывания осадками.

Сумма экспонент в этой формуле соответствует поверхности земли, не поглощающей примесь, при абсолютном поглощении будет разность.

Основным содержанием модели являются обобщающие многочисленные экспериментальные данные, конкретные функции  $\sigma_y, \sigma_z$ .

При этом метеорологические условия подразделяются на шесть классов устойчивости атмосферы (А, В, С, D, E, F). Распределение скорости ветра считают степенной функцией.

Конкретные формулы для расчета дисперсий  $\sigma_y, \sigma_z$  различны для разных рельефов местности. Обычно местности делят на равнинные, сильно пересеченные, сельскую местность, лес, город.

Однако при сложном рельефе или при наличии крупных водоемов рекомендуется проводить натурные эксперименты, без которых применение модели становится некорректным.

До настоящего времени продолжается совершенствование моделей данного вида. Так, созданы различные версии модели TUPOS, в которых учитывается отличие направления и величины скорости ветра и уровень струи (от показываемых флюгером),

более детально моделируется взаимодействие с лежащим выше струи теплым слоем воздуха (при наличии инверсии), уточняются коэффициенты в модели. Поскольку эти модели чисто эмпирические, единственным критерием совершенствования является лучшее соответствие экспериментальным данным.

В некоторых случаях лучшего соответствия экспериментальным данным можно достигнуть даже за счет некоторого упрощения модели.

При выборе модели для реализации следует иметь в виду, что в журнальных публикациях практически всегда описание неполно. Поэтому следует сразу ориентироваться на собственную доработку или восполнение пробелов за счет сотрудничества с авторами. В этом отношении предпочтительнее использование отечественных моделей.

Поскольку модель Паскуилла—Гиффорда проста и имеет официальный статус, ее целесообразно реализовать, даже если запланировано создание более совершенных моделей.

**Модель Института экспериментальной метеорологии (ИЭМ).** Наиболее совершенной из отечественных моделей является в настоящее время модель, созданная в Институте экспериментальной метеорологии. Практическая форма этой модели изложена в Руководстве [6] как официальная модель для расстояний до 100 км. Научные основы модели и ее сравнение с моделью Паскуилла—Гиффорда приведены в работе [7].

Эта модель в равной степени пригодна для описания распространения облака, созданного мгновенным источником, и струи от непрерывного источника.

Распределения концентрации примеси по всем трем координатам имеют гауссову форму, как и в модели Паскуилла—Гиффорда, однако положение центра облака или струи находят интегрированием кинематического уравнения

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{u}(t),$$

где  $\vec{u}(t)$  — скорость ветра в точке, где облако в настоящий момент находится;  $x$  — вектор координат центра облака;  $t$  — время движения.

Процесс диффузии в перпендикулярных к ветру направлениях рассматривают как функцию времени, в отличие от чисто пространственных распределений в модели Паскуилла—Гиффорда.

Таким образом, модель включает важные свойства так называемых моделей "Лагранжева облака".



Это позволяет учесть изменения направления и скорости ветра в процессе распространения облака, и это главное, что позволяет применять модель для расстояний, много больших 10 км.

Зависимости дисперсий облака по всем координатам как функции от времени задают формулами, в которые входит параметр Мони́на—Обухова, заменяющий в качестве характеристики устойчивости атмосферы классы устойчивости Паскуилла.

В модели учитывают поворот и изменение модуля скорости ветра с высотой.

Данная модель при наличии только простейших метеоданных, т. е. однократного измерения скорости и направления ветра на уровне флюгера, почти не имеет преимуществ по сравнению с более простой моделью Паскуилла—Гиффорда. Ее преимущества реализуются с увеличением информации.

Во-первых, необходимы измерения вектора скорости ветра в процессе распространения облака. Эти сведения могут быть отчасти заменены использованием модели атмосферных течений при заданных метеоусловиях.

Во-вторых, нужно знать высоту слоя перемешивания. Фактическое измерение практически невозможно, если не ориентироваться на специальный комплекс измерений, в частности, запуск шаров-зондов во время аварии.

В модели используется карта свойств подстилающей поверхности, которая должна быть создана с учетом сезонной зависимости.

Модель ИЭМ аналогична модели DRYPLUM Метеорологической службы Новой Зеландии. Но использование модели ИЭМ более предпочтительно, так как оно дает возможность доступа ко всем ее деталям и усовершенствованиям, поскольку это происходит в России.

Одним из направлений усовершенствования таких моделей является подключение модели пространственного распределения скорости ветра.

**Трехмерные модели переноса и диффузии примеси.** Основное отличие трехмерных моделей состоит в явном расчете диффузии и переноса примеси. Для этого приходится численно решать начально-краевую задачу для трехмерного уравнения параболического типа:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + (\vec{u}, \text{grad})q - \text{div}(\tau \text{grad } q) = G,$$

где  $q(x, y, z, t)$  — искомая функция, концентрация примеси;  $\vec{u}(x, y, z, t)$  — вектор скорости ветра;  $\tau(x, y, z, t)$  — тензор коэффициентов турбулентной

диффузии;  $G(x, y, z, t)$  — плотность источника примеси;  $\text{grad}$ ,  $\text{div}$  — трехмерные операторы градиента и дивергенции.

Компоненты скорости ветра, тензора коэффициентов диффузии и плотность источника примеси при решении этого уравнения рассматривают как заданные функции. Для задания тензора коэффициентов диффузии используются различные эмпирические модели атмосферной турбулентности, в которых необходимо, прежде всего, задать распределение скорости ветра.

Трехмерные модели имеют важные преимущества. Учитываются высотные распределения ветра и температуры. Взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью может быть учтено в качестве граничного условия в настолько полной форме, насколько известна природа этого процесса. Также могут быть учтены различные вариации параметров атмосферы и поверхности в течение суток и от сезона к сезону.

Отметив совершенства такого рода моделей, необходимо констатировать, что они остаются научно-исследовательскими моделями.

Единственным путем задания необходимой информации о ветрах являются методы интерполяции и экстраполяции данных непосредственных измерений. Такой путь может быть обобщен за счет типизации метеорологических условий, что позволяет привлечь измерения, выполненные ранее. В любом случае это большая метеорологическая работа, требующая организации сети постоянно действующих метеодатчиков.

Существует и более оптимистическая точка зрения. Необходимо использовать иные входные данные: ветер в свободной атмосфере, температуру почвы и воды, тепловыделение предприятий, рельеф, шероховатость и т. д.

Расчеты по аналогичным моделям на персональных компьютерах занимают многие часы и поэтому не могут применяться непосредственно во время аварии.

Если же модель ветра тем или иным способом построена, собственно решение обсуждаемого уравнения переноса и диффузии примеси является вполне реализуемой задачей.

Реален расчет трехмерного и даже нестационарного распределения концентрации примеси при заданных из других соображений ветрах.

**Моделирование в аэродинамических трубах.** Важным методом исследования процессов распространения примесей в атмосфере является моделирование в аэродинамических трубах. По сравнению



с натурными экспериментами, каждый из которых требует участия сотни человек с сотнями приборов и соответствующего транспортного обеспечения, зачастую с привлечением авиации, эксперименты в лабораториях несравнимо дешевле. Поэтому метод широко распространен. Моделирование процессов распространения примеси над сложными территориями описано в статье [8]. Существует мнение, что использование аэродинамического моделирования в ряде случаев может составить серьезную альтернативу трехмерному моделированию или может позволить дополнить эти модели недостающими начальными, граничными условиями, коэффициентами турбулентной диффузии и т. п.

Главной проблемой при моделировании в аэродинамических трубах является соблюдение критериев подобия. Полное подобие, конечно, невозможно, но значения основных параметров выдерживаются равными натурным значениям.

Моделирование в аэродинамической трубе, естественно, имеет альтернативу — полное математическое моделирование. Однако для создания модели турбулентного течения в условиях сложного рельефа с мощной рекой могут потребоваться большие затраты.

Модели, используемые в научных исследованиях, в основном создаются как инструмент исследования природы и носят причинно-следственный характер. В их использовании сложились определенные технологии, понятийный и математический аппарат, условия и традиции. Иногда даже говорят о культуре физико-математического моделирования.

В задачах экологической экспертизы, оценки и даже прогноза качества окружающей среды чаще всего используются описательные или имитационные модели. С помощью этих моделей стремятся получить ответ на вопросы типа "Какое загрязнение окружающей среды мы получим при тех или иных заданных условиях?". В этих случаях необходимо уметь получать ответ, адекватный ситуации, а не устанавливать причинно-следственные связи.

Развитие информационных технологий, вычислительных ресурсов компьютерной техники, высокоскоростных телекоммуникационных сетей локального и регионального масштаба обеспечило предпосылки для создания корпоративных систем. Эффективное хозяйствование на территории требует не только мониторинга ее объектов, но и понимания природы и движущих сил происходящих процессов, умения строить управление на причинно-обоснованных прогнозах. Здесь могут найти практическое применение и научные и прикладные модели, но для этого необходимо развивать инфраструктуру, облегчающую их использование и расширяющую сферу применения. В современных условиях это немыслимо без использования информационных технологий.

#### Список литературы

1. **Годовой** отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2006 году / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. — М., 2007. — С. 508.
2. **Ярыгин Г. А., Петрулевич А. А., Рывкин Д. Б.** Геоинформационный моделирующий комплекс в системах производственного экологического мониторинга предприятий нефтегазового комплекса // Экологические системы и приборы. — 2002. — № 4. — С. 3—6.
3. **Белов И. В., Беспалов М. С., Ключкова Л. В.** Транспортная модель распространения газообразных примесей в атмосфере города // Математическое моделирование. — 2000. — № 11. — С. 25—32.
4. [http://www.mnepu.sura.ru/EI\\_utebnik/ecomonitoring/modelirovanie.htm](http://www.mnepu.sura.ru/EI_utebnik/ecomonitoring/modelirovanie.htm).
5. **Методика** прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: Руководящий документ РД 52.04.253-90. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 23 с.
6. **Руководство** по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС / Под ред. К. П. Махонько. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — 264 с.
7. **Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н.** Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчет распространения примеси. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 231 с.
8. **Kitabayashi K.** Wind tunnel simulation of airflow and pollutant diffusion over complex terrain // *Atm. Env.* — 1991. — Vol. 25 A. — № 7. — P. 1155—1161.

## ВНИМАНИЕ!

Согласно решению Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 10 октября 2008 г. № 38/54 с 10 октября 2008 года к изданиям, рекомендованным для публикаций основных научных результатов докторских и кандидатских диссертаций, относятся **все издания, включенные в Перечень** ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.



УДК 628.33/36

**Ю. Н. Кузнецов**, д-р техн. наук,  
ЗАО "Комплекс+",

**А. Н. Смирнов**, канд. техн. наук, **А. В. Барышенко**, **И. Г. Степанчикова**,  
ГУП "Экотехпром", Москва,

**Н. Б. Котлярова**, **В. Н. Калиниченко**, канд. техн. наук,  
асфальто-бетонный завод № 4

## Новый способ очистки сточных вод

*Предложен новый комплексный подход к очистке сточных вод от органических и неорганических веществ, а также взвешенных частиц, который может быть использован во всех отраслях промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве. В основе технологии лежит взаимодействие сточных вод, представляющих собой дисперсные системы, с электрически заряженными частицами и с внешним электромагнитным полем.*

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, электромагнитная обработка.

**Kouznetsov Y. N., Smirnov A. N., Baryshenko A. V., Stepanchikova I. G. Kotlyarova N. B., Kalinichenko V. N. Novel method of purification of Sewage**

*It is offered the novel complex approach to removal of organic and inorganic substances as well as suspension particles from sewage that can be used in all branches of industry, municipal economy and agriculture. As the basis of this technology, interaction of the sewage as disperse systems with electrically charged particles and external electromagnetic field is used.*

**Keywords:** purification of sewage, electromagnetic treatment.

Очистка сточных вод различных производств является одной из важнейших проблем городского хозяйства. Источниками большого количества сточных вод, загрязненных разнообразными органическими и неорганическими примесями, являются предприятия агропромышленного комплекса — сельскохозяйственные, животноводческие, мясоперерабатывающие и т. п., пищевой промышленности, гальванические производства и нефтеперерабатывающие предприятия. Кроме того, сточные воды агропромышленного комплекса являются питательной средой для многих патогенных микроорганизмов.

Применяемые способы очистки (механические, химические, физико-химические, биологические

и термические), как правило, определяются количественным и качественным составом сточных вод, который зависит не только от отрасли промышленности, но и от используемых в ней технологических процессов. В связи с этим в настоящее время предлагаются различные способы предварительной очистки сильно загрязненной воды, например, перед стадией биохимической очистки, которые эффективно снижали бы энергозатраты в целом и повышали бы надежность очистки при больших колебаниях состава сточных вод. Поэтому весьма актуальным было бы создание универсального метода предварительной очистки сильно загрязненных вод.

Предварительная очистка сточных вод необходима и для внедрения оборотных и замкнутых систем промышленного водопотребления, так как осуществление полного водооборота тормозится сложностью очистки сильно засоленных, многокомпонентных сточных вод, содержащих кислоты, щелочи, органические загрязнители, взвешенные частицы и т. п.

Одним из перспективных направлений очистки промышленных стоков в настоящее время является разработка методов детоксикации и утилизации содержащихся в них вредных веществ с использованием электромагнитных полей. Например, известен способ очистки сточных вод скотобоен и мясокомбинатов (Патент RU 2075452), предполагающий обработку вод коагулянтom с последующей флотацией и проведением биологической очистки с помощью биотехнологий. Перед началом всех перечисленных стадий и после биологической очистки в биокамере сточные воды для интенсификации протекающих физико-химических процессов обрабатывают импульсными электромагнитными полями. Однако в данном способе не предусмотрено удаление растворенных неорганических соединений.

Недавно американской компанией Diversified Technologies Inc. представлена весьма эффективная система "Wastewater Treatment PEF System" обработки сточных вод импульсным электромагнит-

ным полем для обеззараживания воды (news.thomasnet.com). Поток сточных вод на протяжении 1...20 мкс подвергается воздействию импульсного электрического поля с частотой 2 кГц и напряженностью электрического поля 3...40 кВ/см, которое разрушает мембраны биологических клеток и значительно ускоряет предварительную очистку и обеззараживание воды.

Известен также способ очистки воды и промышленных стоков от растворенных примесей путем электрохимической обработки с одновременным воздействием электромагнитного поля (патент RU 2120412). При этом напряженность переменного электрического поля составляет  $(1...15) \cdot 10^4$  В/м. Применение указанного способа связано с использованием большого количества дополнительных реагентов, значительно увеличивающих стоимость очистки, при этом удаление органических загрязнителей не предусмотрено.

Авторами статьи предложен новый комплексный подход (Патент RU 2319670) к очистке сточных вод от органических и неорганических веществ, а также взвешенных частиц, который может быть использован во всех отраслях промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве. В основе технологии лежит взаимодействие сточных вод, представляющих собой дисперсные системы с электрически заряженными частицами, с внешним электромагнитным полем. Кроме того, за счет энергии соударений происходит дополнительная активация дисперсных систем.

В созданном авторами электромагнитном аппарате ЭМА-50 (см. рисунок) совмещаются воздействие на вещество переменного электромагнитного поля, постоянного магнитного поля и механическое взаимодействие постоянных магнитов для проведения предварительной активации сточных вод.

Основные технические характеристики электромагнитного аппарата ЭМА-50:

Объем рабочей камеры, л . . .	50
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	до 50
Напряжение питания . . . . .	однофазное 380/220 В, 50 Гц
Исполнение . . . . .	взрывозащищенное со степенью защиты IP54 для установки в помещениях класса В-1а и ниже
Мощность активная, кВт . . .	25
Рабочее давление в камере, МПа . . . . .	не более 0,2
Масса загружаемых магнитных тел, кг. . . . .	не более 100



Электромагнитный аппарат ЭМА-50

Аппарат оказывает несколько видов воздействия на обрабатываемый материал:

- пульсирующим (синусоидальным) магнитным полем с напряжением на индукторе 220 В или 380 В;
- постоянным магнитным полем при отключении одной или двух параллельных групп катушек индуктора;
- магнитными телами: неподвижными без магнитного поля, неподвижными при наложении поля (сжатыми телами), вращающимися и соударяющимися при воздействии магнитного поля.

Рабочая камера аппарата может иметь несколько положений (горизонтальное, вертикальное или наклонное), для чего индуктор с рабочей камерой установлены на раме, поворачивающейся на 180° червячной передачей на подшипниках скольжения в цапфах станины.

Поток воды, проходящий через вертикальную или наклонную камеру, может двигаться сверху вниз или снизу вверх.



Загрузка рабочей камеры магнитными гранулами или магнитным порошком может колебаться в пределах от 10 до 100 % полного объема камеры.

Сначала сточные воды поступают в рабочую камеру аппарата, где размещены магнитные рабочие тела. Здесь под действием постоянного магнитного поля происходит магнитная и механическая активация воды за счет движения указанных тел под действием переменного электромагнитного поля. Затем активированные сточные воды поступают в двухсекционный электромагнитный фильтр, в котором происходит дополнительная очистка сточных вод.

В первой по ходу движения воды секции на сетке, находящийся в зоне генератора, способного генерировать электромагнитные поля напряженностью 30...65 кА/м и частотой 50...100 Гц, помещены постоянные магниты с эффективным диаметром от 1 до 5 мм, причем толщина их составляет от 10 до 25 см с индукцией до 0,1 Тл. Проходя через первую секцию, сточные воды подвергаются активирующей обработке в переменном электромагнитном поле. Период активации занимает от 15 с до 5 мин при напряженности электромагнитного поля 40...50 кА/м и частоте электромагнитного поля 50 Гц.

Затем активированные сточные воды непрерывным потоком подаются во вторую секцию, где на фильтрующей подложке из пористой полимерной пленки или ткани расположен слой намагниченного до насыщения магнитного порошка гексаферрита бария толщиной от 5 до 30 см и индукцией от 0,07 до 0,2 Тл. В процессе очистки генератор переменного электромагнитного поля периодически отключают от электрического напряжения.

В электромагнитном фильтре происходит полная очистка воды от загрязнителей, которые в виде мелкодисперсного шлама осаждаются на магнитных телах (первая секция) и магнитном порошке (вторая секция). По мере накопления на магнитном порошке мелкодисперсного шлама и органических веществ (например, нефтепродуктов) на генератор переменного электромагнитного поля подается напряжение, под действием которого магнитные рабочие тела и магнитный порошок хаотически движутся, образуя магнитокипящий слой и сбрасывая со своей поверхности накопившийся шлам и органические загрязнения в приемный бункер-накопитель.

Фильтрационный осадок автоматически собирают в отдельный бункер, а магнитные тела и магнитный порошок промывают чистой водой и очищают в электромагнитном поле фильтра. После промывки чистой водой внутреннего объема аппарата напря-

**Данные по очистке сточных вод от нефтепродуктов при различных режимах обработки в электромагнитном аппарате (ЭМА)**

Время обработки в ЭМА	Содержание нефтепродуктов, мг/л	
	до очистки	после очистки
3 мин	12,00	0,035
1 мин	2,00	0,045
1 мин	6,8	0,031
1 мин	5,0	0,043
30 с	5,6	0,029
До 15 с	5,6	0,035
5 с	5,6	0,028
2 с	5,6	0,03

жение отключается, магнитные материалы возвращаются в состояние покоя и вновь готовы выполнять функцию фильтра. Промывная вода отправляется на очистку в электромагнитный аппарат и снова используется для регенерации электромагнитного фильтра.

Время нахождения сточных вод на электромагнитном фильтре зависит от скорости их подачи и от характера загрязнений. Расход электроэнергии на очистку 1 м<sup>3</sup> сточных вод составляет от 1 до 7 кВт в зависимости от производительности аппарата.

Результаты проведенных исследований по безреагентному способу очистки сточных вод от нефтепродуктов в электромагнитном аппарате зависят не только от времени обработки сточных вод в электромагнитном аппарате, но и от толщины магнитного фильтра.

Разработанная технология очистки была опробована на многих объектах: сточных водах автомоек, нефтеперерабатывающих предприятий, гальванических производств, коммунальных сточных вод и т. д.

Во всех случаях содержание неорганических и органических загрязнителей, а также взвешенных веществ уменьшается до предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Данные по очистке сточных вод от нефтепродуктов при различных режимах обработки в электромагнитном аппарате (ЭМА) приведены в таблице.

Результаты проведенных исследований по безреагентному способу очистки сточных вод от нефтепродуктов в электромагнитном аппарате зависят не только от времени обработки сточных вод в электромагнитном аппарате, но и от толщины магнитного фильтра.



УДК 504.3.054; 504.3.064

**В. Ф. Панин**, д-р техн. наук, проф., Томский политехнический университет,  
**Д. М. Шрамов**, Управление Ростехнадзора по Томской области,  
**А. Ю. Филатов**, асп., ОГУ "Облкомприрода" Томской области,  
Томский политехнический университет

## Об интегрированной системе компьютерного мониторинга качества приземного воздуха для урбанизированных территорий

*В г. Томске действует инструментальная система мониторинга загрязнения приземного воздуха. Результаты измерений концентраций вредных веществ в разных пунктах города (диоксид серы, оксиды азота и др.) визуализируются на основе геоинформационных технологий на веб-сайте [www.gis.green.tsu.ru](http://www.gis.green.tsu.ru) "Мониторинг качества окружающей среды г. Томска".*

*С целью совершенствования существующей в г. Томске системы мониторинга загрязнения приземного воздуха также разработана система компьютерного моделирования рассеивания вредных веществ в приземном воздухе. При этом поля расчетных концентраций на территории города фиксируются один раз в течение нескольких минут. Результаты компьютерного моделирования рассеивания вредных веществ интегрируются с результатами измерений существующей в г. Томске системы мониторинга на упомянутом сайте.*

**Ключевые слова:** инструментальная система мониторинга загрязнений приземного воздуха, система компьютерного моделирования загрязнения приземного воздуха, веб-сайт [www.gis.green.tsu.ru](http://www.gis.green.tsu.ru).

**Panin V. Ph., Shramov D. M., Filatov A. Ju.**  
*On integrated system of the urban territory atmospheric air quality computer monitoring*

*There is the instrumental system of urban territory atmospheric air pollution monitoring in Tomsk. The measurements results of in Tomsk's territory different spots the harm substances concentration (sulphur dioxides of nitrogen etc) are visualized by virtue of geoinformative technologies, website [www.gis.green.tsu.ru](http://www.gis.green.tsu.ru) "The environment Tomsk-city quality monitoring".*

*With the object of the existent Tomsk's monitoring system development as well the system of in atmospheric air harm substances dispersion computer modeling is worked out. The fields of the harm substances calculation concentrations are fixed once during some minutes. The computations results of harm substances dispersion computer modeling integrated with the measurements results of the existent Tomsk's monitoring system at referred website.*

**Keywords:** instrumental system of atmospheric air pollution monitoring, system of atmospheric air pollution dispersion computer monitoring, website [www.gis.green.tsu.ru](http://www.gis.green.tsu.ru).

В настоящее время актуально проведение мониторинга качества приземного воздуха урбанизированных территорий на новом системном и техническом уровне с использованием технологии Географических Информационных Систем (ГИС), предусматривающих компьютерное представление экспериментальных (инструментальные замеры) и расчетных (расчетный мониторинг) концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в приземном воздухе, их визуализация на основе ГИС. Подобный интегрированный мониторинг качества приземного атмосферного воздуха дает большой объем информации и мощный инструмент для анализа качества приземного воздуха урбанизированной территории, например, территории г. Томска.

Необходимость проведения расчетного мониторинга загрязнения воздушного бассейна обусловлена недостатком информации, получаемой при инструментальном мониторинге. Информация неполна в части описания загрязнения атмосферы города всеми специфическими ЗВ, по которым отсутствуют результаты инструментальных замеров либо наблюдения нерегулярны или недавно начаты, в связи с чем базирующиеся на них данные статистически не достоверны.

По данным инструментальных замеров также не всегда можно выделить из общей пробы отдельные вредные вещества со сходными физико-химическими характеристиками, а при расчетном мониторинге наблюдения можно вести по любому ЗВ, присутствующему в выбросах и имеющему предельно допустимую концентрацию (ПДК), например, при анализе пробы по взвешенным веществам, саже, пыли.

Данные инструментального мониторинга недостаточно детализированы для получения полной картины пространственно-временного распределения загрязнения атмосферного воздуха. Даже в крупных городах функционирует недостаточное количество (не больше 5...12 постов) наблюдения загрязнения атмосферного воздуха — ПНЗА (в Томске — шесть стационарных постов), к тому же имеется тенденция к сокращению числа ПНЗА. Поэтому проведение расчетного мониторинга целесообразно даже при наличии данных инструментального мониторинга.



Но надо иметь в виду, что расчетный мониторинг не заменяет полностью, а существенно дополняет данные инструментального мониторинга.

В целом, компьютеризация воздухоохранной деятельности является важнейшим направлением развития системы управления качеством атмосферного воздуха [1—10]. Однако моделирование экологической ситуации в рамках управления качеством атмосферного воздуха невозможно без достаточного объема достоверной информации.

Для расчетов показателей качества атмосферного воздуха могут использоваться данные о значении эмиссии любого из ЗВ (например, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и т. д.), зафиксированных инструментальными системами контроля и учета выбросов, а также данные инвентаризаций источников загрязнения. При отсутствии нужной информации на анализируемую дату расчет выбросов ЗВ проводится автоматически по алгоритмам, основанным на действующих методиках расчета выбросов ЗВ.

Основными задачами интегрированной системы компьютерного мониторинга качества атмосферного воздуха являются:

- получение достоверной картины распределения загрязнения атмосферы по всему спектру ЗВ в любой точке рассматриваемой территории и на любую дату (ретроспектива, перспектива, диагноз состояния на существующее положение);
- выявление зон с превышением ПДК;
- определение вклада объекта негативного воздействия или источника в уровень загрязнения атмосферы;
- классификация объектов негативного воздействия с точки зрения значимости выбрасываемых ими ЗВ;
- определение зон влияния предприятий;
- подтверждение достаточности мер по снижению выбросов и их эффективности;
- картирование результатов расчетного мониторинга (ГИС);
- прогнозирование особых, с точки зрения загрязнения атмосферы, ситуаций и их последствий;
- повышение степени эффективности природоохранных мероприятий, рациональности расходования финансовых средств.

Главным отличием предложенной системы компьютерного мониторинга от существующих программных комплексов расчета загрязнения атмосферы (Эра, Призма, Эколог) является структура банка данных, позволяющего накапливать информацию о хозяйственной деятельности в динамике, что дает возможность автоматического определения объема эмиссии ЗВ по каждому источнику загрязнения атмосферы и расчета полей концентраций при различных метеорологических параметрах на существующее положение, а также перспективу и ретроспективу.

В настоящий момент разработана структура электронного банка данных выбросов ЗВ в атмосферу [11]. Первоначально была решена задача о структуре и учитываемых параметрах, как по источникам загрязнения, так и по источникам выделения ЗВ, выработана единая технология сбора и обработки информации, определен ее объем и содержание, стандартная терминология. В Федеральном органе исполнительной власти зарегистрировано авторское право на модуль проведения инвентаризации источников выбросов [12].

Электронный банк данных позволяет накапливать информацию в динамике, что дает возможность с помощью экспертной системы решать следующие задачи:

- централизовать объединение информации, которая позволит комплексно охарактеризовать состояние атмосферы города;
- оперативно использовать информацию для оценки экологической ситуации;
- учесть при расчете нестационарность выбросов во времени, как в разрезе отдельных предприятий, так и города в целом.

На основе электронного банка данных возможно создание системы расчетного мониторинга качества атмосферного воздуха, основанной на расчетных или инструментальных данных об эмиссии ЗВ, с помощью которой можно диагностировать состояние атмосферного воздуха, получить картину распределения загрязнения в любой точке города на любую дату.

На рис. 1 приведена структура системы компьютерного мониторинга. В основу системы положен банк данных, содержащий информацию об источниках выбросов, их качественные и количественные характеристики. Информация поступает от природопользователей при проведении инвентаризации источников (плановое распределение нагрузки) и при отчетности о выбросах (фактическая нагрузка). Для реализации данного информационного потока была решена задача по унификации представляемой информации.

Банк данных с информацией об источниках выбросов и их характеристиках через экспертную систему осуществляет взаимодействие с модулями "Система расчета рассеивания выбросов ЗВ", "Графический модуль" и модулем "Нормирование выбросов". В целом система компьютерного мониторинга представляет собой Программный комплекс. Его суть — организация и контроль потоков информации между банком данных и модулями посредством экспертной системы.

Прием информации о технологии производства, расходуемом сырье и материалах планируется представлять на электронных носителях информации и обрабатывать с помощью Программного комплекса (см. рис. 1). Это повысит достоверность

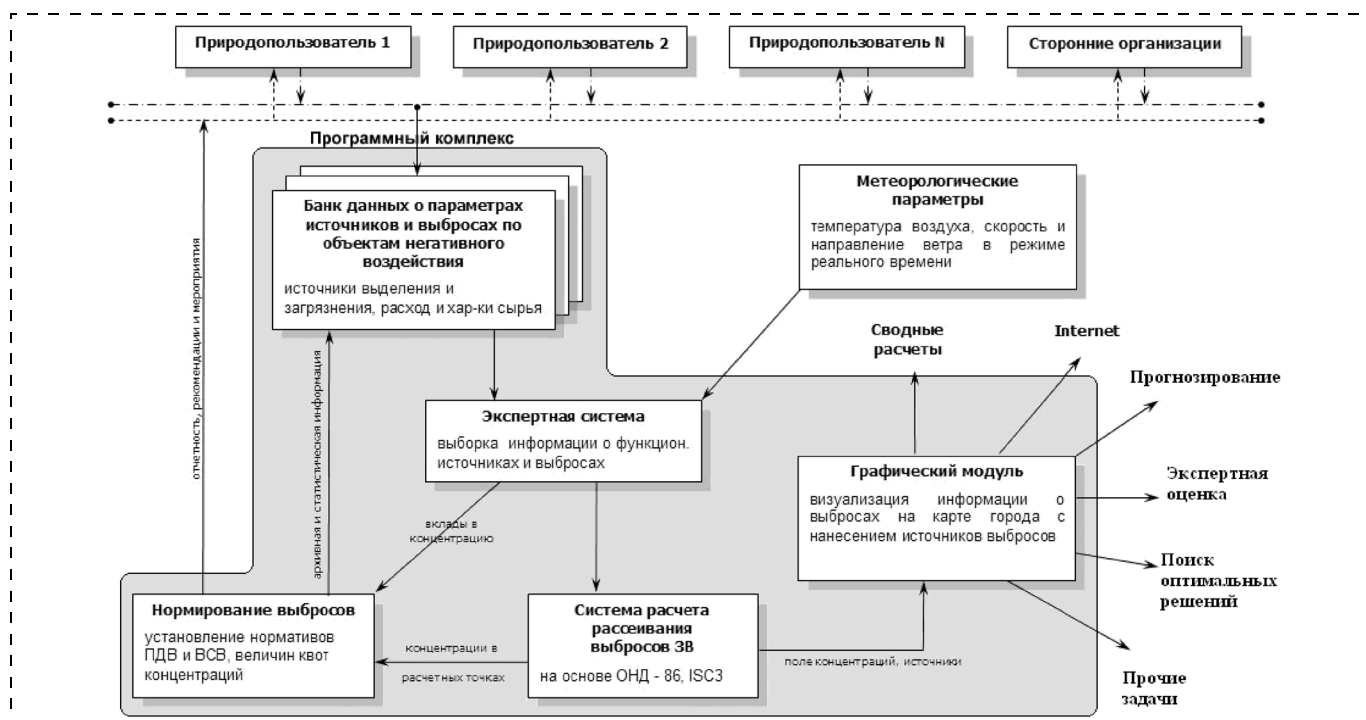


Рис. 1. Структура системы компьютерного мониторинга

данных и даст возможность дальнейшего использования результатов.

В отличие от существующих программ банк данных Программного комплекса позволяет накапливать информацию о хозяйственной деятельности в динамике и дает возможность расчета загрязнения при различных метеорологических параметрах. Но главным отличием является возможность учета изменений не только характеристик источников выбросов, но и моделирование характеристик применяемого в технологии сырья.

Существующие же программы для расчета рассеивания ЗВ используют уже конечные данные о максимально-разовых выбросах, величины которых определяют, как правило, природопользователи или контролирурующие органы.

Разрабатываемый банк данных дает возможность создавать новые и корректировать существующие методики расчета максимально-разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ.

Ввод исходной информации в банк данных осуществляется с помощью модуля инвентаризации. Достоверность вводимой информации автоматически проверяется экспертной системой на основе методик расчета максимально-разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ (например, контролируется расход топлива на котел исходя из его мощности, характеристик и количества используемого топлива, а также времени работы котла). Данный подход позволяет повысить достоверность

данных, принятых к расчету полей концентраций загрязняющих веществ. Система компьютерного мониторинга позволит:

- получить временные графики изменения концентраций ЗВ в атмосферном воздухе;
- иметь статистику для выработки управленческих решений и принятий мер по улучшению качества атмосферного воздуха города;
- осуществить рекомендации по нормированию выбросов и дать оценку перспективы хозяйственной деятельности;
- осуществить прогнозирование качества воздуха при неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ);
- определить интервал опасных метеорологических параметров;
- рекомендовать мероприятия по оперативному (при наступлении НМУ) и стратегическому управлению (разработка и внедрение мероприятий по снижению выбросов с целью достижения величины предельно допустимых выбросов — ПДВ);
- оценить экологическую допустимость намечаемых изменений выбросов;
- осуществить рекомендации по сводному нормированию выбросов для каждого предприятия с учетом установления величины допустимого вклада.

На рис. 2 представлена структура электронного банка данных с указанием основных блоков.

По каждому типу источников выделения ЗВ в базе данных указана расчетная методика и основные рас-

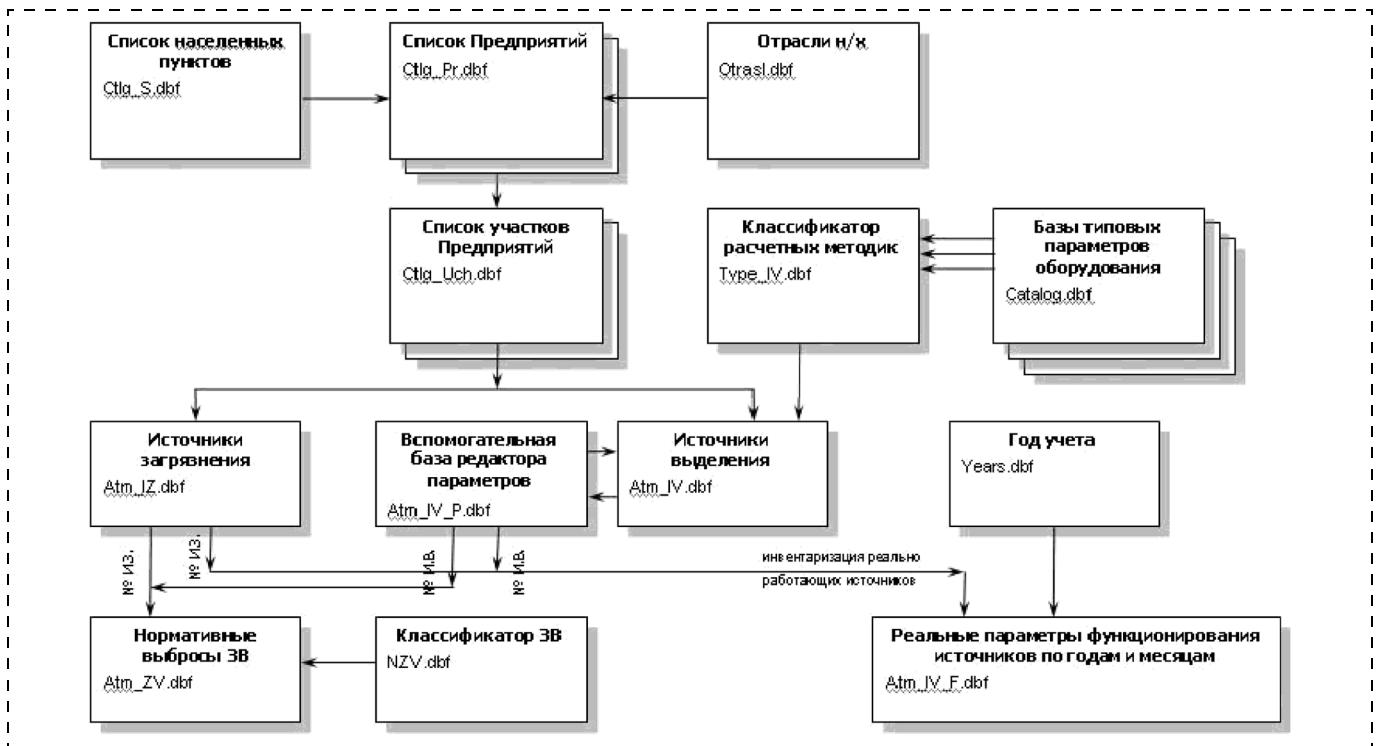


Рис. 2. Структура электронного банка данных источника загрязнения атмосферы

четные параметры, характеризующие выброс загрязняющих веществ при работе оборудования на номинальной нагрузке.

Кроме того, для каждой единицы (либо совокупности) источников выделения указывается распределение нагрузки (ежемесячная либо почасовая) (рис. 3, см. 2-ю стр. обложки), которое используется для оперативного определения объема эмиссии загрязняющих веществ и расчета полей концентраций на перспективу.

Для уточнения и корректировки коэффициентов прогнозируемой нагрузки в электронный банк данных включены базы, учитывающие реальные параметры функционирования источников по годам и по месяцам (рис. 4, см. 2-ю стр. обложки).

Для моделирования распределения концентраций ЗВ разработан расчетный модуль Программного комплекса, базирующийся на математических моделях переноса и диффузии атмосферных примесей с использованием данных инвентаризации параметров источников выбросов, а также климатических и метеорологических характеристик. При приземных концентрациях используется "Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" (ОНД-86), позволяющая учитывать текущие метеорологические параметры, влияющие на рассеивание ЗВ в атмосфере.

Логическим ядром системы компьютерного мониторинга является экспертная система. Конечной целью создания экспертной системы является снижение и распределение нагрузки на оборудование и, как следствие, улучшение экологической обстановки в городах.

Для достоверного определения интенсивности выбросов ЗВ как отдельных производств предприятия, так и совокупности предприятий на территории города, на основании которых определяется степень негативного воздействия на атмосферный воздух, особое внимание должно уделяться оценке степени нестационарности выбросов во времени.

Нестационарность эмиссии загрязняющих веществ обуславливается в основном:

- цикличностью и многостадийностью производственных процессов;
- изменением выбросов на какой-либо стадии процессов;
- наличием периодов неполных нагрузок агрегатов по производственным причинам на рассматриваемом предприятии, их остановки на капитальный и текущий ремонт;
- нестабильностью работы газоочистного оборудования и нарушением герметичности технологического оборудования;
- изменчивостью показателей качества основного и резервного топлива и сырья;





- зависимостью параметров выноса ЗВ от метеорологических факторов.

Для учета данных факторов в экспертную систему введена подсистема цифрового моделирования, включающая вычислительные модули определения выбросов различными типами источников.

Учет нестационарности выделений и выбросов проводится по каждому ЗВ отдельно. При этом во внимание принимаются организованные, неорганизованные и залповые выбросы.

Для учета неравномерности выбросов во времени для производств выявляются наиболее неблагоприятные сочетания одновременно наблюдающихся факторов, влияющих на нестационарность во времени: изменчивость показателей качества сырья (топлива), нагрузки и продолжительности работы агрегатов, расхода сырья и топлива разных сортов, одновременности нагрузки оборудования и т. п. При этом необходимо учитывать, что выбросы из источников могут быть асинхронными как в одной производственной смене, так и в течение суток и даже сезонов (например, на ГРЭС при работе на угле выбросы золы из труб максимальны зимой, а вынос с золоотвалов — летом). Для этой цели введен учет распределения нагрузки ежемесячно и по часам.

Для повышения достоверности распределения нагрузки учитывается, как отмечено выше, плановое и фактическое распределение нагрузки. Фактическая нагрузка определяется с помощью ввода данных расхода сырья и материалов ежемесячно, а в перспективе возможен ввод нагрузки посуточный или даже почасовой.

Плановое распределение нагрузки позволяет задать функционал эмиссии загрязняющих веществ в зависимости от номинальной величины выброса, определенной при максимальной загрузке технологического оборудования предприятий. В частности, на рис. 3 приведено плановое распределение нагрузки одного из источников выделения (ИВ) ЗВ некоторого предприятия, зарегистрированного под номером № 0001000001 (котел НР-18) и входящего в источник загрязнения (ИЗ) № 0001 (труба котельной — см. рис. 4). Предприятие имеет шесть источников загрязнения: труба котельной, склад угля, ..., ремонтно-монтажные мастерские (РММ), зарегистрированные под номерами, соответственно, 0001, 6001, ..., 6009, (см. рис. 4). Величины на горизонтальной оси 0,95, 0,80, и т. п. на рис. 3 показывают долю загрузки источника выделения № 0001000001 (котел НР-18) от максимально возможной нагрузки.

Данный подход позволяет определить ориентировочные величины выбросов ЗВ для усредненных характеристик топлива, расхода сырья (топлива), времени работы оборудования и т. п. Такое задание нагрузки предусмотрено для предприятий, на которых задание фактической нагрузки по месяцам, дням

(часам) пока что затруднительно по организационным или техническим причинам.

При наличии у предприятия достаточно достоверной информации о показателях работы технологического оборудования возможно заполнение информации в раздел "Фактическое распределение нагрузки", что позволяет с помощью расчетных модулей провести расчет величины эмиссии ЗВ с большей точностью. На рис. 4 приведен пример фактической ежемесячной нагрузки котла НР-18. Здесь "время" означает фактическое число часов работы котла НР-18 в месяц, "кол-во" — один источник выделения (котел НР-18), "В" — масса ожидаемого расхода угля в месяц, "QpH" — теплотворная способность используемого угля, "Sr" — сернистость угля, "Ar" — зольность угля.

Подсистема координации и управления экспертной системы вызывает вычислительные модули в зависимости от типа и характеристик источника выделения загрязняющих веществ и выполняет анализ достоверности вводимой информации (функции экспертизы).

На основании выявления сочетаний всех режимов работы оборудования проводится расчетный анализ полей концентраций ЗВ при фактических метеорологических характеристиках атмосферы. Возможно проведение расчетов загрязнения по прогнозным данным для выработки мероприятий по урегулированию выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий. Это позволит точно определить необходимость и достаточность принятия решений при конкретных состояниях атмосферы.

Кроме того, система предоставляет возможность рассчитать вклады источников выбросов в расчетную концентрацию в любой точке местности. Расчетная концентрация от выбранных источников может быть сопоставлена с измеренной концентрацией на постах наблюдения и в результате определена разница и процент вклада источников в месте расположения постов.

В итоге получается временное распределение концентраций в расчетных точках. Можно определить вклады источников ЗВ и выработать мероприятия по снижению выбросов из этих источников.

Выделим следующие основные ситуации, фиксирование которых полезно для обоснования и повышения точности аналитического определения объемов выбросов ЗВ.

1. В большинстве случаев имеются станки, которые находятся в ремонте, законсервированы и т. п. Неучет этой ситуации может привести к завышению значений выбросов и вследствие этого — концентраций ЗВ в атмосферном воздухе, поэтому введен учет распределения нагрузки ежемесячно.

2. Нередко на предприятии имеются отдельные производства (цеха), время работы которых полно-



стью или частично отличается от времени работы предприятия в целом (например, автобусный парк, где время массового выезда транспорта на линии приходится, как правило, на период с 4 ч 30 мин до 7 ч утра, а время начала работы других производств и участков — с 7 ч). Поэтому учет распределения нагрузки ведется по часам.

В зависимости от мощности компьютерной платформы планируется осуществлять расчет полей концентраций ЗВ в течение нескольких минут по каждому ЗВ.

В настоящее время инструментальный мониторинг качества приземного воздуха в г. Томске осуществляется на основе забора и анализа проб воздуха на шести стационарных постах, на нескольких маршрутных постах с помощью передвижных лабораторий, а с начала 2007 г. — на детских площадках, в местах массового отдыха и на 15 напряженных уличных перекрестках [13].

На рис. 5 (см. 3-ю стр. обложки) представлена, в качестве примера, публикация информации о содержании оксида углерода в приземном воздухе (окно в нижней части рисунка) на перекрестке ул. Учебной и пр. Ленина (перекресток обозначен треугольником на плане фрагмента г. Томска). План всего г. Томска представлен в верхнем левом углу рис. 5, на плане г. Томска рассматриваемый фрагмент обозначен прямоугольником. Публикация извлечена на экран монитора с веб-сайта [www.gis.green.tsu.ru](http://www.gis.green.tsu.ru) "Мониторинг качества окружающей среды г. Томска". Система мониторинга качества окружающей среды г. Томска включает подсистемы контроля загрязнения воды, воздуха, почвы, снега, уровня радона (окно в правой части рис. 5). На рис. 5 представлен, таким образом, фрагмент карты загрязнения приземного воздуха. Звездочками обозначены места расположения школ и детских садов. Выбирая курсором знак треугольника на данном перекрестке, можно получить информацию о концентрациях оксида углерода и других ЗВ на перекрестке в разное время. Выбирая мышью звездочки, можно получить информацию о концентрациях загрязнителей непосредственно на территориях школ и детских садов.

Если на указанный сайт ввести знаки мест массового отдыха и информацию о результатах измерений здесь концентраций загрязнителей, то получим картину загрязнения приземного воздуха в данных местах городской территории.

Проведение комплексного анализа загрязнения атмосферного воздуха с использованием расчетного мониторинга и измерений на постах наблюдения позволит оценить и проанализировать проблемы данного компонента окружающей среды в привязке к источникам загрязнения и фактическим метеорологическим параметрам, а также наметить пути системного улучшения экологической обстановки.

Кроме того, применение организованной таким образом системы экологического мониторинга позволит идентифицировать источники выбросов загрязняющих веществ на территории г. Томска, выявлять нарушителей природоохранного законодательства, целенаправленно применять штрафные санкции.

#### Список литературы

1. **Васильева Е. А.** О регистре выбросов и переноса загрязнителей // Экология производства. — 2007. — № 7 (36). С. 33—35.
2. **Щендрыгин А. Г., Костиков А. В., Панарин В. М., Бизкин А. В.** Автоматизированная система контроля качества атмосферного воздуха // Экология производства. — 2007. — № 10 (39). — С. 33—35.
3. **Ким Ж. В.** Исследование техногенного воздействия промышленных и теплоэнергетических предприятий с целью обеспечения экологических норм загрязнения атмосферы. Диссертация на соискание уч. ст. канд. техн. наук. — Барнаул: Алтайский государственный технический университет, 2008. — 126 с.
4. **Панин В. Ф., Дашковский А. Г., Дашковская А. А., Осипова Н. А., Попов В. А.** Мониторинг и управление качеством приземного воздуха в Российской Федерации и Великобритании. Правовые, организационные и науч.-техн. аспекты. — Томск: Дельтаплан, 2003. — С. 226.
5. **Шрамов Д. М., Панин В. Ф.** Совершенствование технологии управления загрязнением атмосферного воздуха городов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды 7 Международного научного симпозиума им. академика М. А. Усова. — Томск: Изд-во НТЛ, 2003. — С. 453—456.
6. **Шрамов Д. М., Панин В. Ф.** Разработка электронного банка данных источников загрязнения атмосферного воздуха. Там же. — С. 456—458.
7. **Panin V. F., Shramov P. M.** Expert System of decisions acceptance for decrease of harmful emissions on the basis of a dynamic databank // Сопряж. задачи механ., информ., экологии: Матер. Междунар. конф. — Томск: Изд-во Том. ун.-та, 2004. — С. 316—318.
8. **Panin V. F., Shramov P. M.** Computer monitoring system of atmospheric air quality // Там же. — С. 318—320.
9. **Шрамов Д. М., Филатов А. Ю., Панин В. Ф.** Территориальная система компьютерного мониторинга // Проблемы геологии и освоения недр: Труды 8 Международного научного симпозиума им. академика М. А. Усова. — Томск: Изд-во НТЛ, 2004. — С. 840—845.
10. **Panin V. F., Shramov D. V.** Development of clean air strategy in Tomsk // Proceeding of 9-th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, Korus 2005, Russia, Novosibirsk, June 26-July 2, 2005. — Novosibirsk: State technical University, 2005. — P. 252—256.
11. **Шрамов Д. М., Филатов А. Ю., Панин В. Ф.** Компьютерное моделирование процессов рассеяния вредных веществ в атмосферном воздухе // Материалы докладов 11 Всероссийской научно-технической конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность". — Томск: Изд-во ТПУ, 2005. — С. 355—357.
12. **Шрамов Д. М., Панин В. Ф., Дашковский А. Г., Филатов А. Ю.** Модуль проведения инвентаризации источников выбросов системы расчетного компьютерного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха "Эко+". Авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610223. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 09.01.2008 г.
13. **Адам А. М., Воробьев С. Н., Панин В. Ф., Шрамов Д. М., Филатов А. Ю.** Совершенствование мониторинга качества атмосферного воздуха г. Томска // Материалы 13 Всероссийской научно-технической конференции "Энергетика: экология, надежность, безопасность". — Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — С. 264—269.



УДК 542.943.7

С. Н. Савельев, асп., Р. Н. Зиятдинов, канд. хим. наук, доц.,  
С. В. Фридланд, д-р хим. наук, проф.,  
Казанский государственный технологический университет

## Интенсификация процесса окисления углеводородов кислородом воздуха и озono-воздушной смесью при очистке сточных вод

*Исследовано влияние концентрации катализатора — катиона железа (II) и pH среды на процесс окисления углеводородов озono-воздушной смесью и кислородом воздуха в сточной воде предприятия основного органического синтеза. Выявлены оптимальные условия каталитического окисления, которые приводят к увеличению степени очистки стока от углеводородов, осветлению и удалению железа из сточной воды.*

**Ключевые слова:** катион железа (II), озono-воздушная смесь, кислород воздуха, окисление, углеводороды, сточная вода.

**Savelev S. N., Ziatdinov R. N., Fridland S. V.**  
*Intensification of process of oxidation of hydrocarbons oxygen of air and ozon-air mix at sewage treatment*

*Influence of concentration of the iron (II) cation as a catalyst and pH on process of oxidation of hydrocarbons by a ozon-air mix and oxygen of air in sewage treatment of the enterprise of the basic organic synthesis has been investigated. Optimum conditions of oxidative catalysis which result in increase in better purification from hydrocarbons, to clarification and removal of iron from waste water has been revealed.*

**Keywords:** iron (II) cation, ozon-air mix, oxygen of air, oxidation, hydrocarbons, waste water.

Предприятия химической, пищевой, текстильной промышленности, нефтедобычи и нефтепереработки относятся к числу экологически опасных объектов. Их сточные воды имеют в своем составе трудноокисляемые органические соединения, удаление которых является проблемой. В связи с этим в поверхностных источниках водоснабжения увеличивается количество органических веществ антропогенного происхождения.

Решить проблему можно путем внедрения в технологию локальной очистки сточных вод окислительных методов. Одним из наиболее сильных окислителей является озон, который благодаря высокому окислительному потенциалу находит практическое

применение в кондиционировании как питьевой, так и сточной воды. Данные работы [1] по окислению различных классов углеводородов подтверждают окислительную активность озона, который используется в качестве обеззараживающего средства [2]. Окислительно-деструктивная функция озона при очистке сточной воды представляет все больший интерес.

Однако данный метод не лишен недостатков. Для его реализации требуются затраты значительного количества электроэнергии. На использование данного метода накладываются ограничения, связанные с пожаро-, взрывоопасностью того предприятия, на территории которого эта очистка производится. В этой связи интересно рассмотреть и возможность использования в качестве окислителя значительно более дешевого и менее опасного реагента — кислорода воздуха.

Для интенсификации окислительных процессов используют катализаторы. В качестве катализаторов применяют металлы переменной валентности, которые участвуют в процессах генерирования гидроксильных и пероксидных радикалов. В работе [3] показано, что гетерогенные катализаторы, содержащие соли никеля, меди, хрома, кадмия, кобальта, железа повышают эффективность очистки сточных вод при анализе химического потребления кислорода (ХПК). Одновременно сокращается расход окислителя и время очистки.

На эффективность окисления углеводородов, содержащихся в сточной воде, как озono-воздушной смесью (ОВС), так и кислородом воздуха оказывают влияние и pH среды.

Далее приведены данные по исследованию интенсификации очистки сточных вод предприятия основного органического синтеза, образующихся в процессе отмывки пирогаза от смоло- и коксообразных частиц, окислительно-каталитическим методом с учетом ранее выявленного оптимального гидродинамического режима, представленного в работе [4], где на примере окисления уксусной кислоты ОВС показано, что с увеличением расхода ОВС до 80 л/ч происходит уменьшение диффузионных сопротивлений и несмотря на то, что время



пропускания озона уменьшается, наблюдается максимальная степень окисления уксусной кислоты.

Образующуюся сточную воду после промывки пирогаза нельзя направлять на биологическую очистку, так как она не соответствует предъявляемым к ней требованиям по ряду показателей. Она содер-

жит в своем составе смолообразные, плавающие углеводороды.

Экспериментальная часть работы состояла из изучения влияния pH среды и концентрации катализатора на процесс окисления углеводородов в сточной воде ОВС и кислородом воздуха. Эксперименты

проводились на лабораторной установке, состоящей из компрессора, блока очистки и осушки питающего воздуха, генератора озона, ротаметра, реактора, газоанализатора, дегазатора для разложения остатков озона.

Эксперимент по изучению влияния pH среды на процесс окисления углеводородов заключался в следующем: в реактор заливали 1 л сточной воды и барботировали ОВС с концентрацией озона 2,9 мг/л или кислородом воздуха с расходом 80 л/ч. Во время проведения эксперимента периодически отбирали пробы, для которых определяли ХПК [5], pH среды, фиксировали коэффициент светопропускания, контролирование которого связано с возможностью последующего использования ультрафиолета для обеззараживания сточной воды в 5-сантиметровом кювете при длине волны 400 нм. Опыт проводили при температуре 20...22 °С. Значение pH среды изменяли добавлением серной кислоты или гидроксида натрия.

Проведенные исследования по изучению влияния pH среды на кинетику окисления углеводородов в сточной воде представлены на рис. 1–4.

Значения степени очистки сточной воды (%) определяли по формуле:

$$W = (XPK_0 - XPK_i) 100 / XPK_0, (1)$$

где  $XPK_0$  — химическое потребление кислорода сточной воды до очистки,  $mgO_2/l$ ;  $XPK_i$  — химическое потребление кислорода сточной воды после очистки,  $mgO_2/l$ .

Следует отметить, что в процессе проведения экспериментов наблюдалось выпадение осадка. Причем количество осадка в процессе обработки сточной воды кислородом

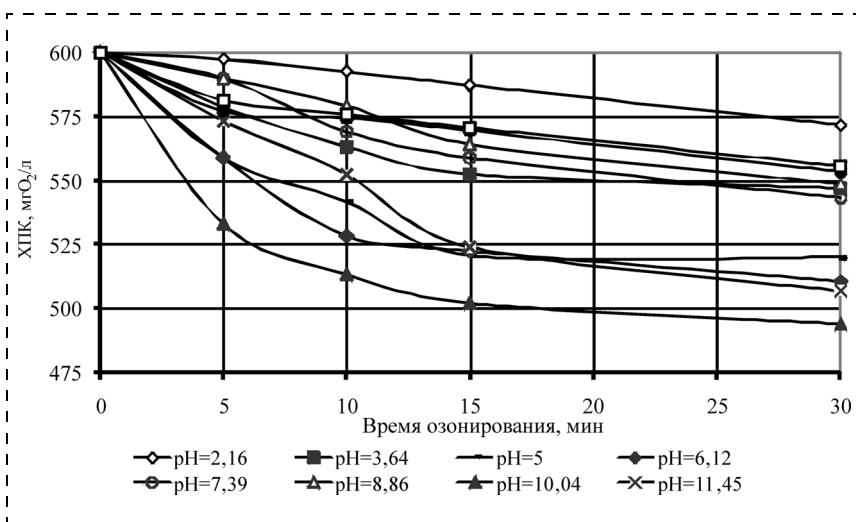


Рис. 1. Зависимость изменения ХПК от времени обработки ОВС и pH среды

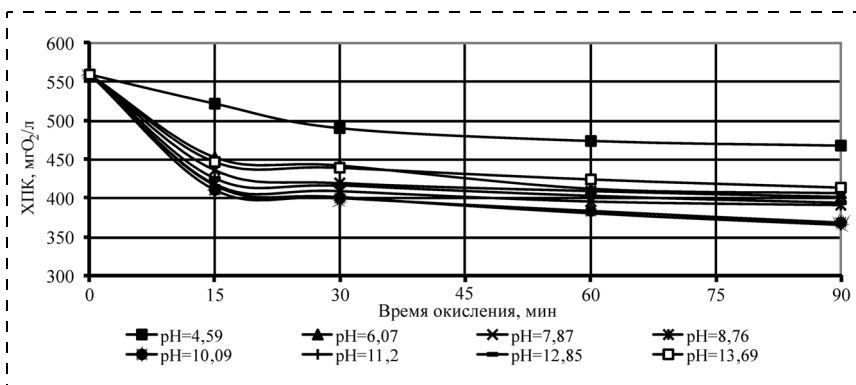


Рис. 2. Зависимость изменения ХПК от времени обработки кислородом воздуха и исходного значения pH среды

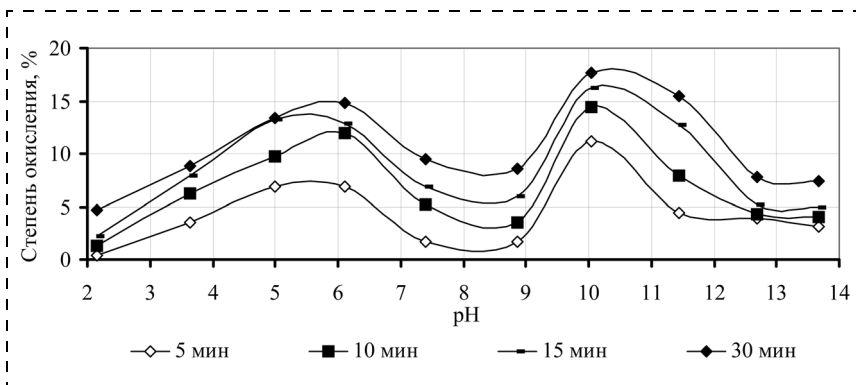


Рис. 3. Зависимость изменения степени окисления углеводородов от pH среды и времени обработки ОВС

дом воздуха было значительно меньше, чем при обработке озонно-воздушной смесью.

В соответствии с рис. 1 и 2 процесс окисления углеводов протекает интенсивно в первые 15 мин. Затем скорость окисления снижается.

Как видно из рис. 3, в процессе окисления углеводов озонном выделяются два максимума эффективности окисления — в кислой среде при  $\text{pH} = 5,5...6,0$  и в щелочной среде при  $\text{pH} = 10...10,5$ . В этих условиях за 15...30 мин окисления степень окисления поллюантов достигает 13...15 % и 17...18 % соответственно. Окисление при  $\text{pH} = 7,5...9$  единиц малоэффективно.

Максимум на рис. 3 в области  $\text{pH} = 5,5...6,0$  можно объяснить химическим процессом, связанным с образованием наибольшего количества осадка, в то время как максимум в области  $\text{pH} = 10...10,5$ , вероятнее всего, объясняется образованием в этих условиях наиболее реакционно-способных гидроксильных и пероксидных радикалов [6].

Процесс окисления кислородом воздуха (см. рис. 4) эффективней проходит в щелочной среде в интервале  $\text{pH} = 10...11,5$ , при этом за 15...30 мин степень окисления углеводов достигает 26...28 %, тогда как за это же время при  $\text{pH} = 4,5...5,5$  единиц она не превышает 7...12 %. Подщелачивание сточной воды выше  $\text{pH} = 11,5$  приводит к снижению степени окисления поллюантов.

Сравнения рис. 3 и 4 показывает, что окисление кислородом воздуха более эффективно по сравнению с окислением ОВС. Такой результат может быть объяснен тем, что обработка сточной воды ОВС приводит к большей конденсации углеводов, чем при обработке кислородом воздуха, что подтверждается количеством образующейся твердой мелкодисперсной фазы.

Процесс обработки сточной воды ОВС приводит к изменению коэффициента светопропускания очищенной воды. Коэффициент светопропускания при озонировании увеличивается в сильно-кислой среде ( $\text{pH} = 2,16$ ) и кислой среде ( $\text{pH} = 5$ ) в течение 30 мин и достигает 15 % и 13 % соответственно. Окисление углеводов в других усло-

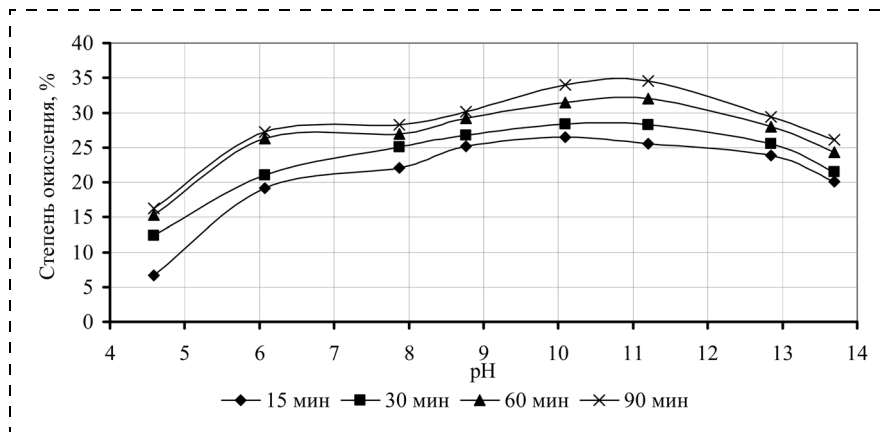


Рис. 4. Зависимость изменения степени окисления углеводов от  $\text{pH}$  среды и времени обработки кислородом воздуха

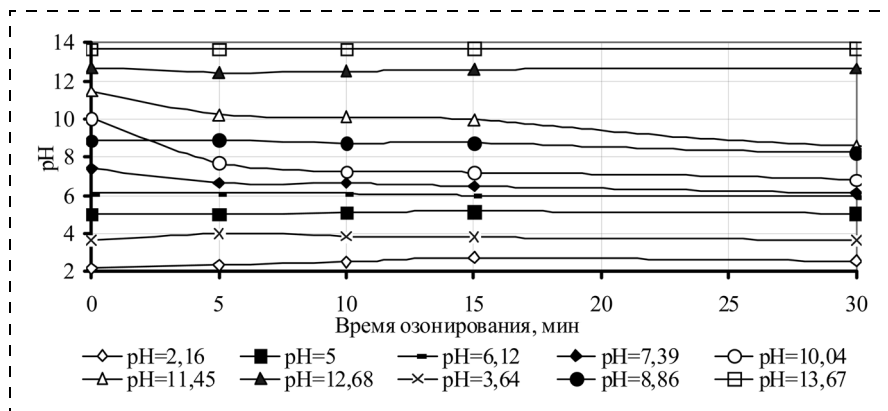


Рис. 5. Зависимость изменения исходной  $\text{pH}$  среды от времени обработки ОВС

виях либо не приводит к значимому увеличению коэффициента светопропускания, либо наблюдается незначительное ухудшение коэффициента светопропускания на 1,5...2,5 % вследствие образования мелкодисперсной твердой фазы.

Коэффициент светопропускания при обработке сточной воды кислородом воздуха возрастает в сильно-кислой среде ( $\text{pH} = 2,9$ ) и сильнощелочной среде ( $\text{pH} = 13,7$ ) в течение 90 мин и достигает 62 % и 24 % соответственно. При проведении экспериментов при  $\text{pH}$  в интервале 2,9...13,7 не наблюдалось существенного изменения коэффициента светопропускания.

Результаты исследования изменения  $\text{pH}$  среды от времени обработки ОВС и кислородом воздуха представлены на рис. 5 и 6.

В работе выявлена зависимость изменения  $\text{pH}$  среды от времени озонирования, из которой видно, что окисление поллюантов озоном в течение 30 мин в среде с  $\text{pH} = 10...11,5$  приводит к его уменьшению на 1,5...3 единицы. Наиболее существенные изменения  $\text{pH}$  среды в этих условиях наблюдаются при первых 5 мин обработки ОВС. Окисление углеводов

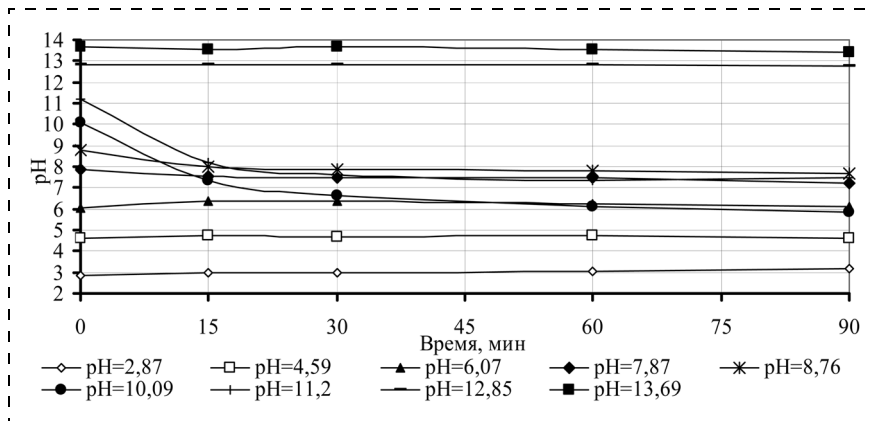


Рис. 6. Зависимость изменения исходной pH среды от времени обработки кислородом воздуха

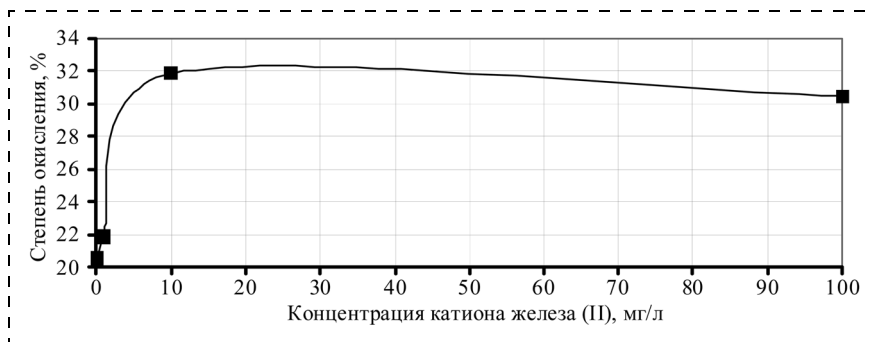


Рис. 7. Зависимость изменения степени окисления углеводородов при обработке ОВС в течение 30 мин от концентрации катализатора при исходном значении pH сточной воды, равном 10

родов в других условиях к значимым изменениям pH не приводит.

Окисление углеводородов приводит к снижению в первые 15 мин pH среды при окислении кислородом воздуха в интервале pH = 10...11,2 на 2,5...3 единицы, а в интервале pH = 7,9...8,8 — на 0,5...0,8 единиц соответственно.

Интенсивное снижение pH среды при начальном значении pH сточной воды в интервале 10...11,5 и 10...11,2, при обработке ОВС и кислородом воздуха соответственно, вероятнее всего можно объяснить тем, что в этих условиях наиболее полно протекает процесс окисления углеводородов с образованием как углекислого газа вследствие полного окисления, так и продуктов неполного окисления, которыми являются органические кислоты.

Из экспериментальных данных, представленных на рисунках 1...6, можно сделать вывод, что наиболее целесообразно проводить процесс окисления ОВС и кислородом воздуха в течение 30 мин при pH = 10...10,5, так как в этом интервале pH достаточно эффективно проходит процесс окисления углеводородов, сопровождающийся нейтрализацией

присутствующих в сточной воде, приводящих к блокированию активных центров катализатора.

Результаты исследований с целью определения оптимального количества катализатора при исходном значении pH сточной воды, равном 10 (это значение pH соответствовало максимальной эффективности окисления, что отмечалась выше), представлены на рис. 7, 8. Значения степени очистки определяли по формуле (1).

Из зависимости изменения степени окисления углеводородов при обработке ОВС и кислородом воздуха от концентрации катализатора видно, что процесс окисления ОВС эффективнее происходит при концентрации катализатора 10 мг/л.

Проведенные исследования показали, что при обработке ОВС сточной воды с применением сульфата железа (II) помимо окислительного процесса идет процесс коагуляции, доля которого в ходе эксперимента увеличивается, что связано с образованием нерастворимых в воде соединений, а также окисленной формы железа —  $Fe^{3+}$ , которая обладает ярко выраженными коагуляционными свойствами.

сточной воды, что для предприятия имеет важное значение.

С целью исследования влияния катализатора на процесс окисления углеводородов проводились эксперименты с введением в реакционную массу каталитических количеств металлов переменной валентности.

Известно, что каталитическая активность наиболее часто используемых металлов уменьшается в ряду: ванадий > железо > кобальт > медь > никель [7]. В качестве катализатора был выбран сульфат железа (II) в связи с тем, что катион железа (II) обладает достаточно сильно выраженной каталитической активностью, является отходом электрохимических производств и его ПДК заметно выше, чем у ванадия, кобальта, меди и никеля.

Дальнейшие исследования проводились по вышеизложенной методике, но с использованием гомогенного катализатора. Применение гетерогенного катализатора по отношению к сточной воде затрудняется налипанием на его поверхности смолообразных углеводородов,

Проведенный эксперимент, в котором исследовалась степень очистки сточной воды по ХПК при внесении в нее трехвалентного железа с концентрацией 50 мг/л без обработки ОВС, показал, что при реализации этого варианта обработки стока степень очистки составила 3 %. При этом снижение ХПК составило 20 мг/л. Данный эксперимент показал, что процесс коагуляции малозначим в условиях эксперимента, а снижение ХПК преимущественно обусловлено окислительными процессами.

Графические зависимости, представленные на рис. 9 и 10, иллюстрируют то, что окисление органических веществ при начальных значениях pH = 10 как в присутствии катализатора с концентрацией катиона железа (II), равной 1, 10, 100 мг/л, так и в его отсутствие приводит к уменьшению значения pH. При этом pH падает на 3...4,5 и 1,5...3,5 единицы и достигает pH среды 7...5,5 и 8,5...6,5 при обработке ОВС и кислородом воздуха соответственно.

Результаты анализа хромато-масс спектров сточных вод до и после озонирования с применением в качестве катализатора сульфата железа (II) при pH среды равно 10,3, свидетельствуют, что обработка ОВС сточной воды помимо окисления органических веществ приводит и к их конденсации. Так, в продуктах окисления были обнаружены соединения с большей молекулярной массой, которых в исходной сточной воде не наблюдалось. Эти соединения не растворимы в воде и выпадают в осадок. Так, снижением доли окислительного процесса в общей очистке сточной воды можно объяснить менее интенсивное изменение pH при использовании более высоких концентраций катиона железа (II).

У проб без выделения осадка после окисления озоном и кислородом воздуха коэффициент светопропускания не меняется, а после фильтрования проб наблюдается увеличение коэффициента светопропускания с ростом концентрации катализатора: при концентрации катализатора 1, 10,

100 мг/л коэффициент светопропускания при 30-минутной обработке ОВС увеличивается до 5, 75 и 87 % соответственно. Увеличение коэффициента светопропускания в этих же условиях при 30-минутной обработке кислородом воздуха составило 20, 82 и 88 % соответственно, тогда, как следствие коагуляции, до начала процесса окисления коэффициент светопропускания увеличился с 1 до 2, 35 и 55 %.

В связи с отмеченным явлением участия катионов железа в процессе коагуляции, возможностью

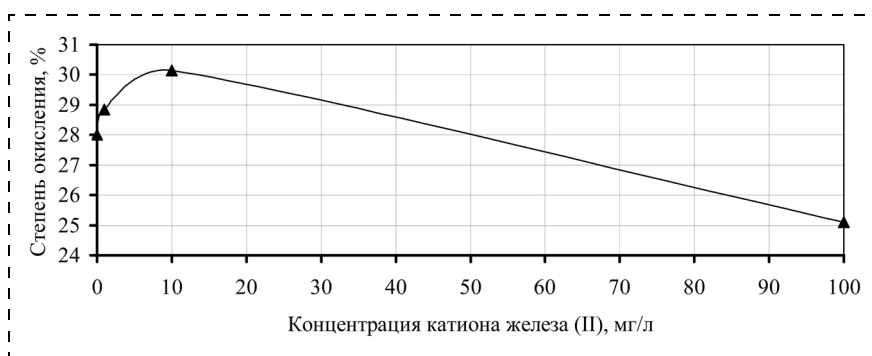


Рис. 8. Зависимость изменения степени окисления углеводородов при обработке кислородом воздуха в течение 30 мин от концентрации катализатора при исходном значении pH сточной воды, равном 10

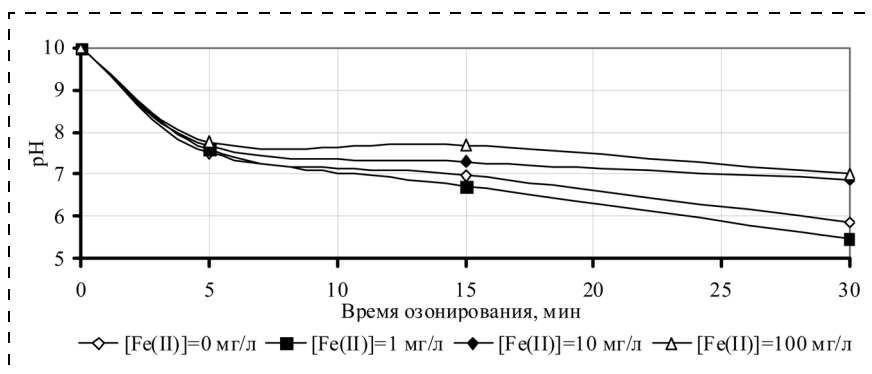


Рис. 9. Зависимость изменения pH от времени обработки ОВС с различными концентрациями катиона железа (II)

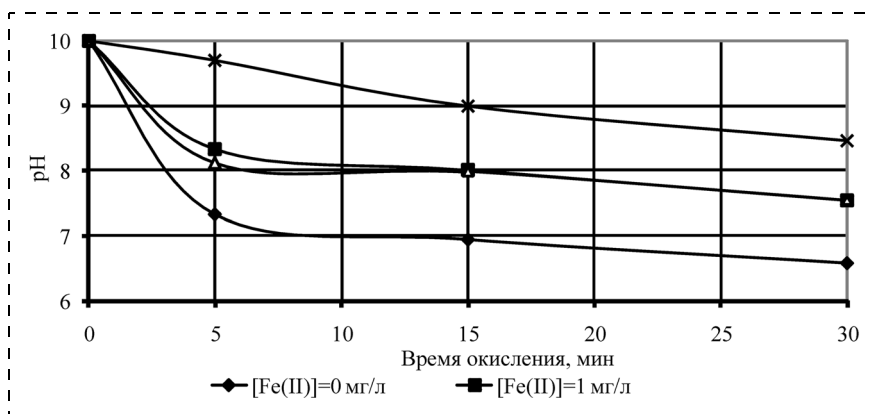


Рис. 10. Зависимость изменения pH от времени обработки кислородом воздуха с различными концентрациями катиона железа (II)

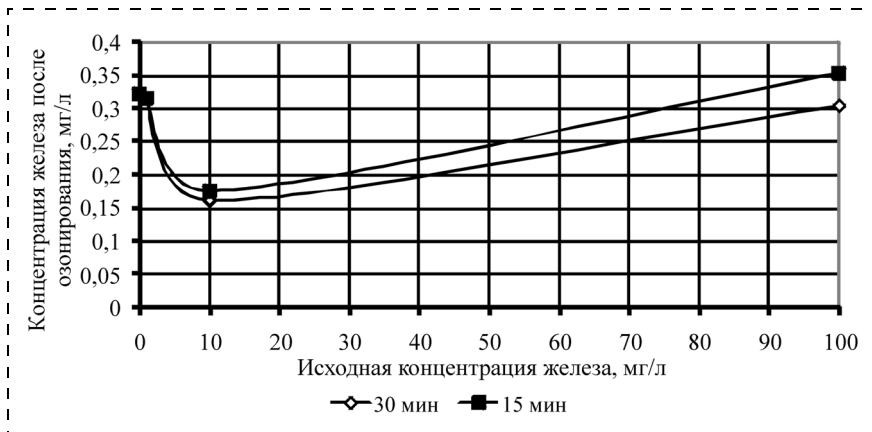


Рис. 11. Зависимость изменения остаточной концентрации железа после обработки ОВС от введенного количества катализатора и времени озонирования сточной воды

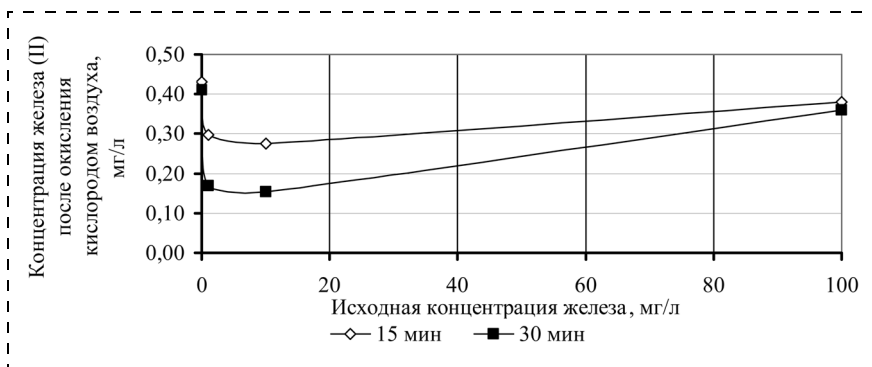


Рис. 12. Зависимость изменения остаточной концентрации железа после обработки кислородом воздуха от введенного количества катализатора и времени обработки сточной воды

выведения его из раствора и прерывания функции катализатора целесообразно было рассмотреть изменение концентрации железа в растворе во время окисления. Поэтому было определено остаточное содержание железа после обработки сточной воды ОВС и кислородом воздуха с добавлением различного количества катализатора (рис. 11, 12).

Из результатов эксперимента, представленных на рис. 11, видно, что кинетические кривые изменения остаточной концентрации железа в сточной воде после озонирования находятся ниже значения ПДК железа в воде водоемов культурно-бытового назначения, равного 0,3 мг/л, при использовании катализатора с начальной концентрацией железа от 2 до 75 мг/л (по результатам интерполяции) при продолжительности озонирования 15 мин и от 2 до 100 мг/л при 30 мин озонирования. При обработке кислородом воздуха (см. рис. 12) этот диапазон концентраций составил от 2 до 32 мг/л при продолжительности 15 мин и от 2 до 75 мг/л при 30 мин обработки.

Так как наилучшая степень окисления углеводородов сточной воды достигается при использо-

вании катализатора с концентрацией 10 мг/л и при этом остаточная концентрация железа не превышает норм ПДК, эту концентрацию катализатора следует считать оптимальной.

Так как разница между степенями окисления углеводородов ОВС и кислородом воздуха (см. рис. 7, 8) при применении катализатора с концентрацией 10 мг/л составляет всего 1,8 %, можно сделать вывод, что экономически целесообразней процесс окисления в присутствии каталитических количеств сульфата железа (II) проводить при использовании кислорода воздуха.

Таким образом, при условиях каталитической очистки: концентрация 10 мг/л катиона железа (II), pH = 10 и времени обработки реальной сточной воды 30 мин удалось увеличить степень окисления органических веществ до 30 % (см. рис. 8), что привело к полному удалению из сточной вода плавающих и смолообразных углеводородов, к значительному увеличению коэффициента светопропускания (до 82 %), снижению pH до 7,5

(см. рис. 10) при применении кислорода воздуха. Вода с такими характеристиками может быть направлена на биологическую очистку.

#### Список литературы

1. Разумовский С. Д., Заиков Г. Е. Озон и его реакции с органическими соединениями. — М.: Наука, 1974. — 322 с.
2. Медведев Г. П., Трухин Ю. А., Евельсон Е. А. Технологические исследования по обезвреживанию озонем природные и сточные вод в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и санитарная техника. — 2000. — № 10. — С. 11—13.
3. Ключихин В. З. Применение катализаторов для очистки сточных вод от органических соединений / Рукопись депонирована в ВИНТИ 12.12.1985. № 8563—В.
4. Зиятдинов Р. Н., Савельев С. Н., Фридланд С. В. Исследования процесса окисления озонем загрязняющих веществ в воде // Экология и промышленность России. — 2007. — № 2. — С. 10—11.
5. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М.: Химия, 1984. — 448 с.
6. Мунтер Р. Р. Принципы разработки проведения процесса и контактных аппаратов для озонирования природных и сточных вод // Химия и технология воды. — 1988. — № 5. — С. 390—392.



УДК 614.841

Л. В. Кузнецова, Т. В. Шукина, канд. техн. наук, доц.,  
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

## Обеспечение пожарной безопасности пассивными способами огнезащиты

*Рассматриваются различные способы пассивной огнезащиты конструкций. Применяемые для этой цели современные материалы значительно повышают степень пожарной безопасности зданий, так как технологии создания слоев, выдерживающих длительное высокотемпературное воздействие, позволяют их выполнить для конструкций различной сложности. Наиболее предпочтительными являются покрытия с легкими заполнителями и вспучивающиеся, которые имеют высокие показатели огнезащиты и не нарушают интерьеров помещений, что особенно важно в строительстве жилых и общественных зданий.*

**Ключевые слова:** огнестойкость строительных конструкций, пассивная защита.

**Kuznetsova L. V., Schukina T. V. Maintenance of fire safety in the passive ways of fire protection.**

*Various ways of passive protection of designs are considered. Modern materials applied to this purpose considerably raise degree of fire safety of buildings as technologies of creation of the layers maintaining long high-temperature influence, allow to execute them for designs of various complexity. The most preferable are coverings with easy fillers and extending which have high indicators of protection and do not break interiors of premises that is especially important in building inhabited and public buildings.*

**Key words:** fire resistance of building designs, passive protection.

В последние годы в России существует тенденция роста количества возникающих пожаров. Только за 2007 год сгорело более 53 тыс. зданий и вследствие этого погибло 15 тыс. человек. Ущерб экономике составил 8,5 млрд руб.

Изменить столь негативную ситуацию можно, если наряду с тщательным проведением активных противопожарных мероприятий расширять область применения пассивных способов защиты строительных конструкций. Предварительно достигнутая необходимая огнестойкость при возникновении пожароопасных ситуаций позволяет ограничить на-

грев основных несущих элементов здания и тем самым снизить затраты на восстановление объектов после тушения.

Эффективность пассивной защиты определяется рядом факторов: типом огнезащитных материалов и их толщиной; размерами и структурой поперечного сечения элементов строительных конструкций; прикладываемой нагрузкой; интенсивностью нагрева при пожаре. Чтобы гарантировать нормируемый период огнестойкости, система защиты должна быть правильно выбрана и установлена.

Рекомендуемые для конкретных условий применения средства повышения огнестойкости должны соответствовать следующим требованиям [1]:

— отвечать необходимым теплофизическим характеристикам защиты, позволяющим при огневой нагрузке не допускать повышения температуры конструкций до значений, вызывающих потерю их несущих свойств;

— при пожаре не гореть, не выделять токсичных веществ и не разрушаться в заданный период огнестойкости;

— сохранять свои свойства по окончании нормируемого времени огнестойкости с последующим прогнозируемым их изменением, обеспечивающим необходимый уровень защиты;

— при возникновении возгорания оставаться на месте нанесения и выполнять свои защитные функции при пожаре во время термического шока, т. е. при охлаждении водой или во время работы активной системы пожаротушения;

— не вызывать коррозию защищаемого материала, быть стойким к условиям окружающей среды, к возможным специфическим утечкам и загрязнениям;

— легко наноситься в разнообразных условиях без ущерба или вмешательства в функционирование объекта;

— быть прочными и легко ремонтируемыми.

К инженерным решениям, обеспечивающим пассивную защиту конструкций, относятся следующие способы повышения огнестойкости: обетонирование, оштукатуривание, обкладка кирпичом; облицовка объекта огнезащиты плитными материалами или установка огнезащитных экранов на относе;



нанесение непосредственно на поверхность объекта огнезащитных покрытий (окраска, обмазка, напыление и т. п.); комбинированный (композиционный) способ, представляющий собой рациональное сочетание различных материалов.

Традиционные способы огнезащиты, такие как обетонирование, оштукатуривание и обкладка кирпичом являются надежными, достаточно стойкими по отношению к агрессивной среде, динамическим и механическим воздействиям. Создавая необходимую толщину защитного слоя, можно обеспечить нормируемую огнестойкость конструкций. Но при повышенных требованиях пожарной безопасности капитальные затраты на возведение объектов при применении традиционных средств огнезащиты существенно возрастают.

Установка листовых, плитных и рулонных облицовок или экранов относится к числу конструктивных способов огнезащиты и находит все более широкое применение в сооружениях различного назначения.

Одним из преимуществ этого способа является то, что плитные и рулонные материалы можно использовать для облицовки конструкций вновь возводимых зданий после пуска основного производства, а при реконструкции зданий вести огнезащитные работы без остановки производственных процессов. Кроме того, возможен демонтаж огнезащиты этого типа при выполнении работ по усилению несущих конструкций и при нанесении антикоррозионных покрытий на металлические элементы. Внутренние полости между облицовкой и защищаемой конструкцией можно использовать для монтажа различных коммуникаций. Применение данного способа огнезащиты позволяет избежать мокрых процессов при его выполнении, что дает возможность вести работы не только при положительных, но и отрицательных температурах воздуха.

К наиболее дешевым и достаточно широко выпускаемым промышленностью средствам огнезащиты данного типа относятся гипсокартонные (ГКЛ)

и гипсоволокнистые (ГВЛ) листы [2]. Они состоят из слоя гипса плотностью 800—1150 кг/м<sup>3</sup>, покрытого с обеих сторон картоном толщиной 0,5...0,7 мм. Гипсоволокнистые листы армированы стекловолокном, и применять их целесообразно в тех случаях, когда предъявляются повышенные требования к внешнему виду несущих конструкций.

Огнезащита из облицовок ГКЛ может выполняться в один и более слоев в зависимости от требуемого предела огнестойкости стальных конструкций. Для наружных облицовок рекомендуется использовать гипсокартонные листы толщиной не менее 14 мм.

Гипсоволокнистые листы при огневом воздействии подвергаются усадке и деформации, которые вызывают раскрытие стыков плит и разрыв стеклоткани. Критическая температура 500 °С при их применении на металле защищаемой конструкции достигается: для одного слоя ГВЛ толщиной 10 мм — через 46 мин, для двух слоев ГВЛ толщиной 10 мм — через 68 мин от начала огневого воздействия по стандартному режиму.

Часто для защиты строительных конструкций используются гипсокартонные листы фирмы КНАУФ. В этом случае облицовка представляет собой одно- или многослойную обшивку, смонтированную на каркасе из стального оцинкованного профиля. Крепление профилей каркаса к колонне осуществляется с помощью специальных клипс. Испытания материала КНАУФ, произведенные во ВНИИПО МЧС РФ, показали хорошие результаты по огнестойкости (см. таблицу) [3].

В последнее время для огнезащиты строительных конструкций вместо обычной цементно-песчаной штукатурки все чаще применяют облегченные штукатурки и покрытия на минеральных вяжущих. Эти материалы обладают повышенной огнезащитной эффективностью при существенно меньшей массе, поэтому лишь незначительно увеличивают нагрузку на фундаменты зданий и сооружений.

Огнестойкость защитных покрытий

Предел огнестойкости, мм	Толщина защитного слоя, мм, материалов					
	КНАУФ	ВПМ-2	ВП на основе вермикулита	"Экран-М"	"Огракс-В-СК"	"Терма"
30	—	—	5	—	0,6	2,6
45	Один слой 12,5	4	9	4	1	—
60	Два слоя 25	—	12	—	—	—
120	Три слоя 37,5	—	—	—	—	—
150	Три слоя суперлистов 45	—	—	—	—	—

В состав огнезащитных облегченных штукатурок и покрытий входят пористые и волокнистые заполнители. В качестве вяжущих для их приготовления используют обычный и быстротвердеющий портландцемент марок не ниже 400, а также гипс, растворимое стекло и др. Выбор вяжущего зависит от влажностного режима работы защищаемой конструкции. Наиболее эффективными считаются составы на быстротвердеющем портландцементе.

Примерами наиболее известных зарубежных огнезащитных покрытий с легкими заполнителями могут служить составы Safco (США), выполненные на основе минеральной ваты и минеральных вяжущих, и Mandoval (Англия) из вспученного вермикулита и портландцемента. Оба покрытия обладают высокой адгезионной способностью к различным материалам и применяются для огнезащиты металлических, железобетонных, каменных и деревянных конструкций.

Примером огнезащитных фосфатных покрытий (ОФП) высокого качества являются составы, разработанные ЦНИИСК им. Кучеренко, например, покрытия ОФП-ММ и ОФП-МВ.

Покрытие ОФП-ММ состоит из асбеста, жидкого стекла и его отвердителя — нефелинового антипирена. Оно обеспечивает предел огнестойкости металлических конструкций до 180 мин при толщине слоя около 50 мм и наряду с высокими огнезащитными свойствами обладает низкой теплопроводностью, небольшой плотностью, хорошей эластичностью, устойчивостью к вибрации и долговечностью. Огнезащитный слой покрытия ОФП-ММ не растрескивается и не разрушается при воздействии огня. Механизированные способы нанесения состава не требуют послойной сушки и могут быть выполнены как на холодную, так и на горячую поверхность за один прием.

На основе покрытия ОФП-ММ разработан состав ОФП-МВ, в композицию которого вместо асбеста (в том же количестве) вводится гранулированное минеральное волокно. По своим физико-механическим, теплофизическим и огнезащитным свойствам оно не уступает покрытию ОФП-ММ, но при этом обладает более низкой плотностью.

К классу огнезащитных покрытий относятся производимые НПП "Унихимтек" пасты "Терма" и "Огракс-В-СК" (см. таблицу) на основе воднодисперсного раствора. Эксплуатировать эти покрытия можно лишь в помещении.

Вспучивающиеся покрытия (ВП) занимают особое место среди применяемых в настоящее время средств огнезащиты строительных конструкций. Достаточно высокая огнезащитная эффективность

ВП в сочетании с широкими возможностями использования механизированных методов нанесения составов на поверхность конструкций обуславливает повышенный к ним интерес. Они наносятся тонким слоем на поверхность конструкций и выполняют в процессе ее эксплуатации функции лакокрасочного декоративно-отделочного материала. При действии высоких температур покрытие вспучивается, многократно увеличиваясь в объеме с образованием пористого слоя, обладающего хорошими теплоизоляционными свойствами. Вспучивающиеся покрытия являются многокомпонентными системами, состоящими из связующего, антипирена и пенообразователей — вспучивающих добавок, а также они могут включать красители и технологические добавки.

Примерами вспучивающихся покрытий являются: ВПМ-2 на органическом полимерном связующем [4]; ВП на основе вермикулита; "Экран-М" на основе мочевино-формальдегидных смол (см. таблицу).

Учитывая приведенные характеристики различных способов повышения огнезащитных свойств строительных конструкций, следует отметить, что наиболее перспективными материалами для этой цели являются покрытия с легкими заполнителями и вспучивающиеся. Разрабатывая новые составы покрытий этого класса из доступных и недорогих компонентов, можно при незначительных дополнительных затратах на повышение огнестойкости сооружений в случае возникновения возгорания предотвратить интенсивное его распространение и тем самым избежать значительного ущерба.

Наряду с противопожарным усилением несущих строительных конструкций целесообразно активнее использовать огнезащитные экраны, разделяющие помещения на отдельные отсеки в момент возникновения и начала развития горения. Повысить надежность такой преграды можно также, применяя в их конструктивном исполнении эффективные огнезащитные покрытия.

#### Список литературы

1. **Малкин М. А.** Пассивная противопожарная защита // Строительные материалы. — 2007. — № 4. — С. 26—27.
2. **Страхов В. Л., Крутов А. М., Давыдкин Н. Ф.** Огнезащита строительных конструкций / Под ред. Ю. А. Кошмарова. — М.: Информационно-издательский центр "ТИМР", 2000. — 433 с.
3. **Скворцов Т. Н.** Обеспечение требований пожарной безопасности материалами КНАУФ // Строительные материалы. — 2006. — № 4. — С. 26—27.
4. **ГОСТ 25131—82.** Покрытие по стали вспучивающееся огнезащитное ВПМ-2.

УДК (613.164 + 613.644 + 537.811)(083.74)

**И. Н. Брежнева, И. Е. Клейменова**, канд.-техн. наук, **Р. Н. Сибгатуллин**,  
ООО "ВолгоУралНИПИгаз, г. Оренбург

## Систематизация существующей нормативно-технической документации по оценке воздействия на окружающую среду шума, вибрации и ЭМП

*При проведении инженерно-экологических изысканий и разработке проектной документации для строительства, реконструкции, технического перевооружения промышленных объектов подлежат обязательной оценке воздействия на окружающую среду физических факторов — шума, вибрации и электромагнитных полей (ЭМП). Для обеспечения полноты экологической оценки была проведена систематизация действующей нормативно-технической документации с учетом области применения, характера требований и уровня их конкретизации.*

**Ключевые слова:** акустическое загрязнение окружающей среды, физические воздействия, шум, вибрация, электромагнитные поля, неблагоприятное воздействие, гигиеническое нормирование, нормативно-техническая документация.

**Brezhneva I. N., Kleymenova I. E., Sibagatullin R. N.** *Systematization of present normative-technical documentation for noise, vibration and electrical-magnetic fields (EMF) environmental impact estimation*

*In the course of engineering-environmental surveys and development of designing documentation for construction, reconstruction, re-equipment of industrial projects such physical factors as noise, vibration and electrical-magnetic fields (EMF) should be estimated for environmental impact. Systematization of the present normative-technical documentation (NTD) has been performed by us to provide a complete environmental estimation, considering field of application, pattern of requirements and level of their concretization.*

**Keywords:** *acoustic environmental contamination, physical impacts, noise, vibration, electrical-magnetic fields, detrimental impact, hygienic regulation, normative-technical documentation (NTD).*

Существующая база нормативно-технической документации (НТД) позволяет установить и количественно оценить реальный уровень воздействия вредных физических факторов на человека, определить необходимые мероприятия по снижению уровня неблагоприятного воздействия и средства инди-

видуальной защиты. Выполнение установленных нормативов воздействия на человека является, одновременно, условием сохранения комфортности окружающей природной среды для живых организмов. При проведении инженерно-экологических изысканий и разработке проектной документации должны быть зафиксированы основные источники вредного воздействия, их интенсивность, определены зоны с превышением допустимого уровня вредного физического воздействия.

Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" устанавливает необходимость "определения критериев безвредности воздействия физических факторов на людей, растения и животных, особо охраняемые природные территории и объекты..." (ст. 11, п. 1), применимых "в целях предупреждения вреда, который может быть причинен окружающей природной среде, здоровью и генетическому фонду человека" (ст. 15, п. 1) [1]. Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" декларирует "необходимость обязательной оценки воздействия на окружающую среду физических факторов (ст. 12, п. 2) [2] при строительстве, реконструкции, техническом перевооружении, расширении, а также консервации, ликвидации промышленных объектов".

Экологическая оценка территории для последующего строительства или реконструкции промышленных объектов предполагает комплексный подход к оценке состояния окружающей среды и рассматривает все ее компоненты, как биотические, так и абиотические. Воздействие физических факторов на живые организмы не вызывает сомнений, но в Российской Федерации отсутствуют экологические нормативы воздействия физических факторов на отдельно взятые компоненты окружающей природной среды: атмосферный воздух, ландшафты, растительность, животный мир, в том числе на почвенную биоту и гидробионтов.

В то же время Федеральный закон "О животном мире" требует принятия мер по предотвращению гибели животных при осуществлении производственных процессов. Эти требования конкретизируются в постановлении Правительства РФ от 13 августа 1996 г. № 997. Указанные требования распространяются на широкий спектр производственных

процессов, в том числе строительство и эксплуатацию промышленных объектов. Имеется в виду предотвращение гибели животных в результате изменения среды обитания, а также в результате воздействия электромагнитных полей, шума и вибрации. В то же время в специальной литературе имеются лишь отдельные исследования частного характера, относящиеся к клинической медицине и определяющие особенности воздействия шума и вибрации на животных в условиях лабораторного эксперимента. Исследования космической медицины также не могут использоваться в работе экологов в полном объеме, поскольку устанавливают воздействия физических факторов на живые организмы вне условий планеты Земля.

Таким образом, на практике ощущается недостаточность нормативно-технической базы для оценки состояния окружающей среды, ее компонентов вне сельской или промышленной зоны, для которых разработаны конкретные нормативы воздействий физических факторов.

Действующие нормативы предельно допустимого вредного воздействия физических факторов основываются на медицинских, технических и других показателях, т. е. разрабатываются с учетом вредности того или иного воздействия на здоровье людей, а также с учетом уровня технического состояния производственных и других объектов и возможностей предотвращения вредного воздействия их деятельности на здоровье человека. Они устанавливаются "на уровне, обеспечивающем сохранение здоровья и трудоспособности людей, охрану растительного и животного мира, благоприятную для жизни окружающую природную среду" [1, 3]. Все нормативные документы разработаны для зоны длительного пребывания или проживания человека: жилой застройки, зон рекреации, рабочей зоны, территории промышленных предприятий и т. п. Таким образом, на законодательном уровне декларируется универсальный характер установленных нормативов воздействия физических факторов, как для человека, так и для окружающей природной среды.

Используя это положение как истинное исходное — аксиому, провели систематизацию действующей нормативной базы РФ по физическим факторам, устанавливающей гигиенические нормативы их воздействия.

Акустическое загрязнение окружающей среды является одной из серьезных проблем современной экологии. Неблагоприятное акустическое воздействие ощущает на себе практически каждый человек: на рабочем месте, в жилых и общественных помещениях, в транспорте и на улице. Широкое внедрение в промышленность интенсивных техно-

логий, рост мощности оборудования и транспортных средств, повсеместное применение электрифицированного бытового оборудования и приборов резко повысили долю физических воздействий в существующей антропогенной нагрузке на человека и окружающую среду.

По данным ряда авторов [4, 5, 6], доля заболеваний, связанных с неблагоприятным воздействием таких физических факторов, как шум, вибрация и ЭМП, может достигать 30 % в больших городах. По данным клинико-физиологических исследований [7, 8, 10], установлено негативное воздействие физических факторов на живые организмы, проявляющееся в виде функциональных нарушений центральной и вегетативной нервной систем, снижении слуха и т. п. ЭМП искусственного происхождения играют немалую роль в развитии сердечно-сосудистых, онкологических, аллергических заболеваний, нарушении гормонального статуса организма, функциональной регуляции эндокринной и иммунной систем, ряда других отклонений.

Предупреждение неблагоприятного воздействия физических факторов (шума, вибрации и ЭМП) на организм человека основано на их гигиеническом нормировании — обосновании допустимых уровней, обеспечивающих предупреждение возникновения каких-либо расстройств или нарушений здоровья человека.

Дадим краткое описание перечисленных выше вредных факторов.

- Шум — бессистемное дисгармоничное сочетание звуков различной интенсивности и частоты, характеризующееся звуковым давлением, скоростью распространения, длиной волны, частотой, интенсивностью. Шум является общебиологическим раздражителем, воздействующим на все органы и системы организма, вызывающим специфические поражения слухового аппарата и неспецифические расстройства и нарушения систем организма и отдельных органов. Гигиеническому нормированию подлежат: звуковое давление в октавных полосах частот и уровни звука.
- Вибрация — механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам, характеризующиеся временем вибровоздействия, виброскоростью, виброускорением, амплитудой виброперемещения, длиной волны и частотой колебаний. Вибрация обладает выраженной биологической активностью, проявляющейся в виде "вибрационной болезни": нейрососудистых нарушениях, поражениях нервно-мышечной и эндокринной системы, опорно-двигательного аппарата. Гигиеническому нормированию подлежат: виброскорость и виброускорение.



- Электромагнитные поля искусственных источников представляют собой особую форму материи — совокупность электрического и магнитного полей, распространяющихся в пространстве в виде электромагнитных волн. ЭМП характеризуются следующими параметрами: диапазоном частот, длиной волны, напряженностью электрического и магнитного поля, скоростью распространения и вектором плотности потока. Гигиеническому нормированию подлежит напряженность каждого из полей: электрического и магнитного.

В настоящее время на территории Российской Федерации действуют более ста пятидесяти НТД по шуму, вибрации и ЭМП искусственных источников. Действующие нормативные документы были сгруппированы с учетом области применения НТД, характера требований и уровня их конкретизации.

В качестве основных НТД, используемых для экологической оценки строительства, реконструкции, технического перевооружения промышленных объектов, были выделены 10 нормативных документов, имеющих наибольшую область применения и устанавливающих следующее: классификацию характеристик, перечень нормируемых параметров, допустимые уровни воздействия, способы расчета воздействия.

В качестве дополнительных документов были выделены четыре документа, содержащих требования к средствам и методам: измерений, контроля,

защиты от неблагоприятного воздействия рассматриваемых физических факторов.

Документы, применимые к отдельным видам оборудования, техники, помещений и материалов, в количестве более 140 наименований отнесены к НТД частного характера. Они устанавливают требования, применимые при разработке отдельных видов материалов, конструировании узлов и агрегатов конкретных машин и механизмов, т. е. они предназначены для конструкторов и проектировщиков, но не для экологов, и поэтому подробно нами не рассматривались.

Классификация основной и дополнительной НТД приведена в таблице.

Область и объект применения действующей нормативно-технической документации частного характера по оценке воздействия вредных физических факторов приведены ниже.

Шум (114 НТД):

- машины и механизмы: стационарные, ручные, землеройные, тягодутьевые машины, трансформаторы силовые, вентиляторы, аппараты телеграфные, машины электрические вращающиеся;
- транспортные средства: автотранспорт различных категорий, морские и речные суда, тепловозы, подвижный железнодорожный состав, машины сельскохозяйственные и лесохозяйственные самоходные, самолеты и вертолеты различных назначений и конструкций, мотоциклы;
- оборудование: сварочное, компрессорное, дизели судовые, тепловозные и промышленные, стан-

**Классификация и краткая характеристика действующей основной и дополнительной нормативно-технической документации по оценке воздействия вредных физических факторов**

Наименование НТД, вредный физический фактор	№ НТД, шифр, код	Область применения	Устанавливаемые параметры
<i>Основная НТД (инженерно-экологические изыскания для строительства СП-11-102—97)</i>			
<b>Шум</b>			
Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки	СН 2.2.4/2.1.8.562—96	Классифицирует шум и его характеристики, устанавливает характеристики и предельно допустимые уровни (ПДУ) для конкретных видов деятельности проникающего в помещения и на жилую территорию шума	Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука для конкретных видов трудовой деятельности
Общие требования безопасности	ГОСТ 12.1.003—83	Классифицирует шум и его характеристики, устанавливает характеристики и ПДУ на рабочих местах и требования к защите от шума	Значения предельно допустимых уровней звукового давления, уровни и эквивалентные уровни звука на рабочих местах. Ссылки на НТД, регламентирующие измерения и защиту от шума
Защита от шума (для различных категорий помещений, территорий и конструкций для разного времени суток)	СНиП 23-03—2003	ПДУ звукового давления, эквивалентные и максимальные уровни звукового давления; определяет требуемое снижение уровня шума расчетным способом, содержит справочные данные по звукоизоляционным конструкциям	Регламентирует максимальные значения нормируемых показателей по категориям и времени суток. Методика расчета уровня звукового давления, индексы изоляции ограждающими конструкциями
Средства и методы защиты от шума. Классификация	ГОСТ 12.1.029—80	Устанавливает общую классификацию средств и методов защиты от шума	Термины и пояснения, классифицирующие средства и методы защиты от шума



Окончание таблицы

Наименование НТД, вредный физический фактор	№ НТД, шифр, код	Область применения	Устанавливаемые параметры
<b>Вибрация</b>			
Обозначения и единицы величин	ГОСТ 24347—80	Устанавливает единые обозначения и единицы величин измерения вибрации	Величины, обозначения и единицы измерения вибрации
Вибрационная безопасность	ГОСТ 12.1.012—2004	Устанавливает общие требования, область применения ГОСТа, время воздействия на персонал, необходимость контроля	Регламентирует время воздействия вибрации, необходимость контроля вибрации на рабочем месте
Вибрация в помещениях жилых, производственных и общественных зданий	СН 2.2.4/2.1.8.566—96	Устанавливает классификацию, нормируемые параметры	Регламентирует предельно допустимые значения уровней вибрации в помещениях, на рабочих местах (по категориям)
<b>Искусственные электромагнитные поля</b>			
Электрические поля промышленной частоты	ГОСТ 12.1.002—84	Устанавливает допустимый уровень напряженности электрических полей частоты 50 Гц и требования к проведению контроля на рабочих местах	Регламентирует значения ПДУ и порядок осуществления контроля на рабочих местах
Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля	ГОСТ 12.1.045—84	Устанавливает предельно допустимый уровень (ПДУ) напряженности частоты и требования к проведению контроля на рабочих местах	Регламентирует значения ПДУ и порядок осуществления контроля на рабочих местах
Электромагнитные поля в производственных условиях	СанПиН 2.2.4.1191—03	Устанавливает допустимый уровень напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах, методы и средства индивидуальной защиты персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП	Устанавливает на рабочих местах: временные допустимые уровни ослабления геомагнитного поля; ПДУ электростатического и постоянного магнитного поля; ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты 50 Гц; ПДУ электромагнитных полей в диапазоне частот 10...30 кГц и 30...300 ГГц
<i>Дополнительная НТД</i>			
<b>Шум</b>			
Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний	ГОСТ 17187—81	Устанавливает общие технические требования и методы испытаний шумомеров	Порядок проведения и технические требования к методам испытания шумомеров
<b>Вибрация</b>			
Средства измерения и контроля на рабочих местах	ГОСТ 12.4.012—83	Устанавливает общие технические требования к виброизмерительной аппаратуре	Регламентирует основные характеристики системы измерения (тип, диапазон измерений, пределы погрешности и т. п.)
Методы и средства защиты	ГОСТ 26568—85	Устанавливает методы и средства защиты от вибрации	Классифицирует методы и средства защиты от воздействия вибрации на организм человека
Вибрация и удар. Виброизолирующие устройства. Информация, предоставляемая заказчиками и изготовителями	ГОСТ 28362—89	Распространяется на виброизолирующие устройства и устанавливает комплекс сведений о подлежащем виброизоляции оборудовании	Дана информация, которая должна быть указана изготовителем для обеспечения соответствия характеристик виброизолирующих устройств требованиям к виброизоляции
<b>Искусственные электромагнитные поля</b>			
Защита населения от воздействия электрического поля ЛЭП	СанПиН 2971—84	Устанавливает основные требования: ПДУ напряженности внутри жилых зданий и на территории жилой застройки, вне ее, в часто посещаемой местности и т. д.	Регламентирует ПДУ для различных типов местности и зон, определяет размер санитарно-защитной зоны в зависимости от напряженности электрического поля



- ки (металлорежущие и пр.), кузнечно-прессовое, вспомогательные установки самолетов, блоки энергетические, бытовые и аналогичные электрические приборы, системы акустические бытовые, вычислительные машины;
- помещения: кабины звукоизолирующие, зрительные залы, заглушенная и реверберационная камера;
  - методы измерения электроакустических параметров (громкоговорители), акустика авиационная, частоты для акустических измерений, микрофоны, определение шума машин при помощи образцового источника или иным способом, определение уровня звукового давления излучения, уровня звуковой мощности;
  - определение звукоизолирующих свойств материалов, звукоизоляции кожухов, материалы строительные звукопоглощающие и звукоизоляционные, звукоизоляция оконных блоков и дверей, защита от шума в строительстве, экраны акустические передвижные;
  - защита от шума: средства индивидуальной защиты органов слуха, глушители шума в строительстве;
  - заявление и контроль значений шумовых характеристик, поверочные схемы и методики поверки, методы измерений, статистическая обработка результатов определения;
  - стандарт организации (ОАО "Газпром"): каталог газоперекачивающего оборудования, акустические испытания и методика расчета уровня шума и защита от шума;
  - допустимые уровни в жилых и общественных зданиях.
- Вибрация (19 НТД):**
- машины и механизмы гражданских судов и средств освоения мирового океана, а также самоходные строительно-дорожные машины, машины ручные;
  - оборудование и энергетические установки гражданских судов и средств освоения мирового океана, прочее оборудование: машины электрические вращающиеся;
  - помещения: морских и речных судов;
  - контроль состояния машин, наземного транспорта, сидений транспортных средств;
  - локальная вибрация (повреждение рук в области ладоней), защита рук от вибрации;
  - передаточные характеристики упругих элементов конструкций, кусторезных машин, датчиков, измерение вибрации на рукоятках.
- ЭМП (8 НТД):**
- ориентировочные безопасные уровни воздействия переменных магнитных полей частотой 50 Гц

при производстве работы под напряжением на воздушных линиях электропередачи напряжением 220...150 кВ;

- требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей;
- допустимые уровни напряженности электрических полей и плотности ионного тока для переноса подстанций и воздушных линий постоянного тока ультравысокого напряжения;
- допустимый уровень радиочастот и требования к проведению контроля;
- временные допустимые уровни воздействия ЭМП, создаваемых системами сотовой и радиосвязи;
- предельно допустимые уровни воздействия ЭМП, создаваемых ПЭВМ.

Существующая база НТД позволяет установить и конкретно оценить реальный уровень воздействия вредных физических факторов на человека, определить необходимые мероприятия и средства индивидуальной защиты, способствующие снижению уровня вредного воздействия на работающих.

Нормативы предельно допустимого вредного воздействия имеют юридическое значение, так как закрепляются в нормативно-правовых актах и являются обязательными для исполнения. Они выступают критериями правомерности поведения субъектов экологических отношений, и за их нарушение установлена юридическая ответственность. Выполнение установленных нормативов воздействия на человека является одновременно условием сохранения качества окружающей природной среды для живых организмов.

#### Список литературы

1. **ФЗ** "Об охране атмосферного воздуха" № 96-ФЗ от 4.05.1999 (с изменениями на 31.12.2005 года).
2. **ФЗ** "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" № 52-ФЗ от 30.03.1999 (с изменениями на 26.06.2007 года).
3. **Кузнецова Н. В.** Экологическое право. — М.: Юриспруденция, 2000.
4. **Глебова Е. В.** Производственная санитария и гигиена труда. — М.: Высшая школа, 2004.
5. **Иванов Н. И.** и др. Инженерная экология и экологический менеджмент. — М.: Логос, 2002.
6. **Коробкин В. И.** Экология. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2000.
7. **Белкин В. Н.** и др. Влияние магнитного поля промышленной частоты и постоянного освещения на периферическую кровь крыс // Гигиена и санитария. № 2005. — № 5. — С. 78.
8. **Вербовой А. Ф.** и др. Определение темпа биологического старения при вибрационной болезни // Гигиена и санитария. — 2005. — № 5. — С. 75.
9. **Власов В. Н.** Сочетание действия толуола и общей вибрации в хроническом токсикологическом эксперименте // Гигиена и санитария. — 2005. — № 5. — С. 75.
10. **Капцов В. А.** и др. Экологическая опасность объектов железнодорожного транспорта и состояние здоровья населения // Гигиена и санитария. — 2003. — № 1. — С. 21—25.



## О межгосударственном стандарте "Шум машин. Метод сравнения данных по шуму машин и оборудования"

В июле 2006 года введен в действие ГОСТ 31327—2006 (ИСО 11689:1996). Шум машин. Метод сравнения данных по шуму машины и оборудования. Во введении к стандарту отмечается, что национальные и международные директивы (регламенты) во все большей мере требуют создавать и использовать малозумные машины и оборудование. Это предполагает, что производители, потребители машин и оборудования и органы власти имеют или могут получить достоверную информацию о шуме конкретной продукции, относящейся к соответствующему семейству машин.

Основываясь на этой информации, можно получить показатель качества по шуму семейства, типа или группы машин или оборудования, представленных на рынке. Разъясняется, что сравнение и оценку данных по шуму машин используют в следующих целях:

- 1) в качестве исходной информации об уровнях шума конкретных семейств машин, например, когда нужно установить требования для вновь создаваемых их типов;
- 2) для предоставления потребителю и/или покупателю машин или оборудования возможности сравнивать подобные машины по шуму;
- 3) для предоставления информации рабочим группам, разрабатывающим стандарты по безопасности машин, стандарты по испытаниям на шум и/или руководства по снижению шума конкретных типов оборудования;
- 4) для информирования органов власти, на которые возложен надзор за условиями труда и контроль здоровья и безопасности работающих;
- 5) для информирования производителей и других потенциальных пользователей баз данных по шуму;
- 6) для информирования консультантов-акустиков, использующих принятые методы для первичной оценки уровня шума на месте установки машин.

Таким образом, стандартизация метода сравнения характеристик шума машин и оборудования является весьма актуальной.

В разделе рецензируемого стандарта "Область применения" отмечается, что он устанавливает метод сравнения данных по шуму семейства, типа или группы машин или оборудования и распространяется на все известные машины или оборудование, для которых имеются стандарты по испытаниям на шум или которые имеют сравнимые данные по шуму.

Обращается внимание, что метод, приведенный в стандарте, применим для других физических факторов (например, вибрации).

Особо подчеркивается, что этот метод позволяет как оценивать шум единичных машин или группы машин одного типа, так и сравнивать по акустическим параметрам машины со сходными техническими характеристиками и областью применения.

В разделе "Нормативные ссылки" дается перечень стандартов используемых в рассматриваемом документе.

В разделе стандарта "Термины и определения" комментируются следующие из них: семейство машин, измеренное значение шумовой характеристики, заявленное значение шумовой характеристики, характеристический параметр машины, показатель качества по шуму, кумулятивная частота значений шумовой характеристики,  $L$  — линии.

В разделе "Классификация машин" разъясняется, что машины классифицируют в соответствии с их назначением. При этом по возможности используют стандартную классификацию (коды ОКП).

Машины классифицируют по семействам и группам, основываясь на следующем критерии: различные семейства и группы машин определяют точностью, позволяющей однозначно отнести машину к одному семейству или группе. Приводятся соответствующие примеры.

В разделе стандарта "Данные по шуму" перечисляются используемые в настоящее время основные и дополнительные шумовые характеристики машин. В подразделе "Методы измерений" отмечается, что последние должны устанавливаться стандартами на испытание машин и оборудования на шум, а при их отсутствии должны использоваться (если может быть обеспечена сравнимость данных) методики основополагающих стандартов: ГОСТ 30457—97, ГОСТ 31171—2003, ГОСТ 31252—2004.

Обращается внимание, что для определения показателя качества по шуму исходными являются представительные данные об этой характеристике машин. Подчеркивается, что решающим требованием к правильно сформированной базе данных является не количество данных, а их представительность. Поскольку обычно 100 %-ный охват представленных на рынке машин невозможен, то в соответствии с настоящим стандартом данные признают представительными, если они охватывают



машины не менее 50 % производителей и не менее 50 % продаваемых моделей машин данной группы. Если это условие не выполняется, то заинтересованные стороны решают, какие данные могут быть признаны представительными. Машины должны быть отобраны из представленных на рынке. Испытаниям подвергают новые машины и, при необходимости, обкатанные. Если данные не представительны, то этот факт должен быть отмечен (например, записью в протоколе испытаний: "Объем данных не отвечает условию представительности по ГОСТ 31327—2006") и указан процент охвата машин.

При регистрации данных в протоколе стандарт требует, чтобы были отражены: идентификационные параметры машин; их изготовители; период, в котором определяют значения шумовой характеристики; все другие сведения, которые полезны для сравнительного анализа (например, процент охвата рынка; технические меры, принятые для снижения шума; их стоимость и т. д.).

В разделе стандарта "Типы шумовых характеристик" перечисляются шумовые характеристики единичной машины и партии машин. В последнем случае таковой согласно стандарту является среднеарифметическое звуковое давление (уровень звука), определяемое по формуле:

$$\bar{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i$$

где  $L_i$  — значение шумовой характеристики испытанной машины в данной партии, дБ (дБА);  $N$  — число испытанных машин.

Обращается внимание, что среднеарифметическое значение  $\bar{L}$  может быть указано вместе с его удвоенным стандартным отклонением  $\pm 2s_{\text{prod}}$  или  $\pm 2s_{\text{tot}}$ , характеризующим соответственно рассеяние значений шумовой характеристики при производстве или общее рассеяние соответственно. Разумеется, что определение стандартного отклонения для каждого среднего значения (для одной модели данного производителя) возможно, если число различных моделей не слишком велико. Сбор данных о средних значениях проводят для продукции, изготавливаемой в больших количествах.

Стандартное отклонение  $s$ , дБ (дБА) характеризует распределение значений  $L_i$  вокруг среднего значения.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (L_i - \bar{L})^2}$$

В разделе стандарта "Представление значений шумовых характеристик" установлено, что оно может быть сделано в двух формах: в табличной и/или в графической. Таблица должна содержать данные по шуму, технические данные машины и ее характеристические параметры.

При графическом представлении должны соблюдаться следующие требования:

а) если характеристические параметры не имеют значительного влияния на звуковое излучение, то данные по шуму представляют в одной или нескольких следующих формах:

- 1) проводят линии, параллельные линии регрессии, через точки, где отклонения от нее наибольшие;
- 2) показывают диапазон, в котором лежат все значения данных по шуму;
- 3) показывают наибольшее и наименьшее значения и среднее значение шумовых характеристик;
- 4) указывают среднее значение и удвоенное значение стандартного отклонения ( $\pm 2s$ );

б) рассеяние данных должно быть показано на гистограммах или диаграммах (графиках);

с) если по собранным данным обнаружена связь между значениями шумовых характеристик и значениями одного или нескольких характеристических параметров, то это должно быть представлено одним или несколькими графиками (рис. 1).

На графике, согласно стандарту, как минимум должны быть показаны результаты измерений (пары измеренных значений шумовой характеристики и соответствующего характеристического параметра) и рассчитанная линия регрессии. Обращается вни-

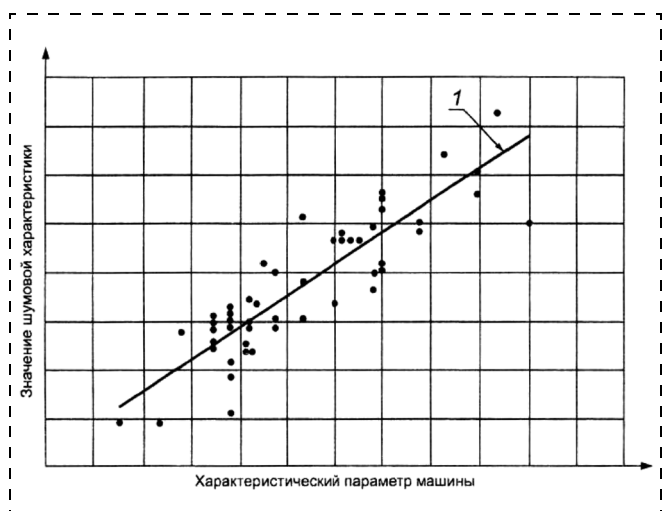


Рис. 1. Зависимость значений шумовой характеристики от характеристического параметра машины:

1 — линия регрессии

мание, что если зависимость шумовой характеристики от характеристических параметров не может быть выражена одной прямой линейной регрессии, то диапазон значений характеристических параметров делят на поддиапазоны, в которых может быть выполнен линейный или любой другой приемлемый регрессионный анализ (рис. 2 и 3). Во всех случаях в таблице или на графике указывают год сбора данных и номер использованного стандарта на испытания на шум.

В разделе "Оценка данных по шуму машин" определено, что для оценки данных по шуму машин должны использоваться  $L$ -линии. Согласно разъяснениям рассматриваемого раздела стандарта в общем случае эффективная оценка шума машин может быть выполнена путем графического анализа с помощью двух линий  $L_1$  и  $L_2$ . Для оценки данных по шуму машин стандарт рекомендует нанести на график линии  $L_1$  с кумулятивной частотой значений шумовой характеристики  $x$  от 70 % до 95 % и линии  $L_2$  с кумулятивной частотой  $y$  от 10 % до 30 % с шагом кумулятивной частоты не более 5 %.

Расстояние между линиями  $L_1$  и  $L_2$  должно быть не менее 3 дБ (3 ДБА), в противном случае классификация не является значимой.

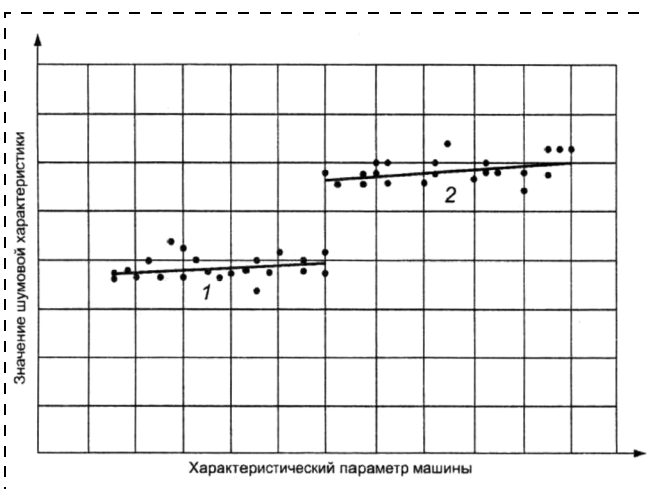
Кроме того, приводится следующий комментарий:

1) значения шумовой характеристики выше линии  $L_1$  (рис. 4) обычно имеют машины с низким показателем качества по шуму. Линия  $L_1$  должна задаваться большим значением кумулятивной частоты значений шумовой характеристики, диапазон между линиями  $L_1$  и  $L_2$  (см. рисунок 4) охватывает машины со средним показателем качества по шуму;

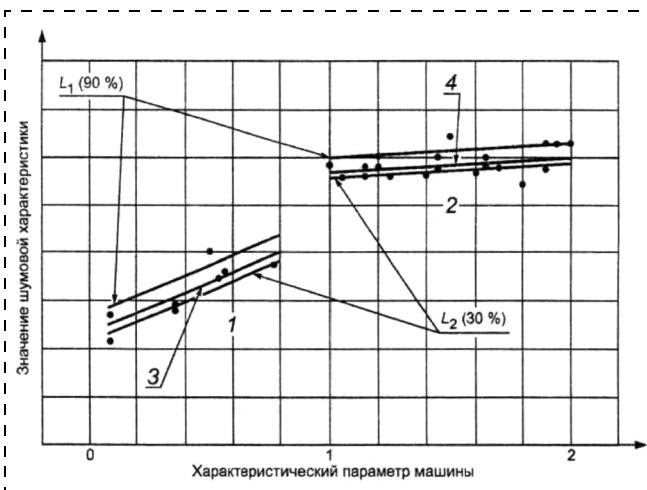
2) значения шумовых характеристик ниже линии  $L_2$ , обычно соответствует машинам с высоким показателем качества по шуму. Линия  $L_2$  должна задаваться низким значением кумулятивной частоты значений шумовой характеристики.

Обращается внимание, что для некоторых групп машин допускается устанавливать дополнительный диапазон значений шумовой характеристики введением линии  $L_3$  ниже линии  $L_2$ . Значения шумовых характеристик ниже линии  $L_3$  имеют машины, у которых показатель качества по шуму достигает наивысшего значения (за счет соответствующих мер, принимаемых производителем). Линии  $L_2$  и  $L_3$  должны отстоять не менее чем на 3 дБ (дБА), в противном случае линию  $L_3$  не строят.

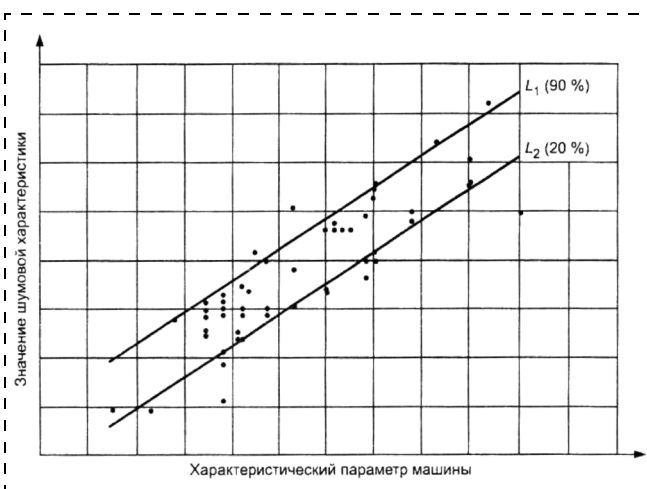
На линиях  $L_1$  и  $L_2$  (и при необходимости  $L_3$ ) указывают кумулятивную частоту значений шумовой характеристики [например,  $L_1$  ( $x$  %),  $L_2$  ( $y$  %),  $L_3$  ( $z$  %)].



**Рис. 2. Разделение данных на две группы:**  
1 — первая группа данных; 2 — вторая группа данных



**Рис. 3. Пример двух групп данных по шуму с различной зависимостью от характеристического параметра:**  
1 — первая группа данных; 2 — вторая группа данных; 3 — линия регрессии для первой группы данных; 4 — линия регрессии для второй группы данных



**Рис. 4. Оценка данных по шуму машин и определение показателя качества по шуму**



С целью пополнения сведений о показателе качества по шуму данной группы машин или оборудования рекомендуется дополнительно к данным по шуму машин приводить информацию о примененных производителем мерах по снижению шума.

В разделе стандарта "Порядок определения и показателя качества по шуму" приведенный порядок изложен следующим образом: при определении показателя качества по шуму группы машин выполняют перечисленные действия:

1) выбор стандартизованного метода измерения шума для группы машин, для которых необходимо установить показатель качества по шуму;

2) организация сбора данных по шуму машин и о соответствующих характеристических параметрах машин с помощью заинтересованных производителей;

3) анализ собранных данных и отбор для использования только тех, которые получены согласно стандартам по испытаниям на шум и являются сравнимыми (остальные данные исключают);

4) определение процента охвата рынка машин собранными данными о рассматриваемой группе машин и обеспечение представительности данных;

5) установление характеристических параметров машины, с которыми коррелирует шум (характеристические параметры могут быть указаны в стандарте по испытаниям на шум, или их определяют на основании исследований);

6) нанесение на график данных по шуму машин (массив пар данных в координатах: значение шумовой характеристики — значение характеристического параметра);

определение поддиапазонов характеристических параметров, если необходимо; Определение линий регрессии для каждого массива пар данных;

7) выбор кумулятивной частоты значений шумовой характеристики для построения линий  $L_1$  и  $L_2$  и определение возможности построить линию  $L_3$ .

В справочном приложении А стандарта рассматривается методика и пример расчета линейной регрессии.

В справочном приложении В — приведены оценки данных по шуму машин.

В рекомендуемом приложении С — дан пример представления данных по шуму машин.

В заключение можно отметить, что введение ГОСТ 31327—2006 (ИСО 11689:1996) "Шум машин" метод сравнения данных по шуму машины и оборудования будет способствовать повышению объективности данных о характеристиках шума, представленной на рынке продукции, а ее производители получат соответствующую базу данных, необходимую для создания малозумной техники, что будет способствовать решению важной социально-экономической задачи снижения уровня шума на производстве и в окружающей среде.

**А. Ф. Козьяков**, канд. техн. наук, проф.,  
МГТУ им. Н. Э. Баумана

## ИНФОРМАЦИЯ

**17—19 марта 2009 г. в Санкт-Петербурге проводятся  
II всероссийская научно-практическая конференция  
с международным участием,  
выставка и научно-обучающий семинар  
"Защита населения  
от повышенного шумового воздействия".**

Адрес lkz переписки: noise2009@ntc-ecology.ru

Подробная информация: www.ntc-ecology.ru

**Ученый секретарь конференции:**

ШАШУРИН Александр Евгеньевич

Тел. раб. (812) 710-15-73; тел./факс (812) 316-15-59; e-mail: sashuric@rambler.ru

Г. И. Хантургаева, В. Г. Ширеторова, И. Г. Антропова,  
Байкальский институт природопользования СО РАН, г.Улан-Удэ

## Приоритеты развития и экологическая безопасность Байкальского региона (по материалам Международной научно-практической конференции)

"Приоритеты и особенности развития Байкальского региона" — под таким названием прошла в Республике Бурятия с 31 июля по 3 августа 2008 г. III Международная научно-практическая конференция, посвященная Международному году планеты Земля и 85-летию Республики Бурятия. Организаторы конференции — Правительство Республики Бурятия, Фонд содействия сохранению озера Байкал, Группа компаний "Метрополь", Байкальский институт природопользования СО РАН и Российский фонд фундаментальных исследований.

На пленарном, секционных заседаниях и круглых столах обсуждался широкий круг вопросов:

- роль Байкальского региона в стратегии развития России в условиях глобализации;
- приоритеты экономического развития и особенности хозяйственной деятельности в условиях экологических ограничений;
- вопросы реализации инвестиционных проектов и привлечения инвестиций в экономику Иркутской области, Республики Бурятия, Забайкальского края, а также внешнеэкономического сотрудничества приграничных регионов России;
- формирование новых центров динамичного экономического роста России на основе региональных и межрегиональных зон опережающего развития;
- проблемы и перспективы частного-государственного капитала в реализации экономических проектов в Байкальском регионе.

Особое внимание было обращено на необходимость создания механизмов экологически ориентированного планирования развития Байкальской природной территории.

Еще в 1993 г. после саммита в Рио-де-Жанейро академик В. А. Коптюг заявил о необходимости разработки мировой модельной территории устойчивого развития, где можно было бы разработать

механизмы поиска интересов общества и сохранения окружающей среды. По его мнению, таким идеальным объектом является озеро Байкал. В 1994 г. в г.Улан-Удэ по его инициативе совместно с Научным комитетом НАТО была проведена международная конференция "Байкал как мировая модельная территория устойчивого развития". К сожалению, по различным причинам идеи этого выдающегося ученого и общественного деятеля так и не были реализованы.

Данная международная конференция продолжает развивать идеологию устойчивого развития Байкальского региона. Масштаб мероприятия показал, что интерес к уникальному природному наследию — озеру Байкал, его богатой природной территории, значительным запасам пресной воды, минерально-сырьевых ресурсов и леса растет, несмотря на полное отсутствие инфраструктуры в районах расположения месторождений полезных ископаемых и туристской инфраструктуры: дорог, комфортабельных гостиниц, квалифицированных кадров.

На конференции отмечалось, что экономика России в ближайшем будущем сохранит свою сырьевую направленность: доля России в общем минерально-сырьевом потенциале мира составит не менее 10...12 %. Сохранится и политика России по ускоренному развитию минерально-сырьевого комплекса. Весомый вклад в реализацию этой общегосударственной политики должны внести Бурятия и Забайкальский край. Поэтому рациональное, экологически безопасное использование минерально-сырьевых ресурсов является и будет оставаться одним из стратегических направлений развития республики. Вместе с тем, интенсивное развитие горнодобывающей промышленности может нанести серьезный урон экосистеме всего Байкальского региона. Поэтому необходимо решить задачу — достижение баланса между освоением



полезных ископаемых и сохранением уникального природного наследия.

На пленарном заседании президент Республики Бурятия В. В. Наговицын в своем докладе представил программу социально-экономического развития Республики до 2017 года и основные горно-рудные кластеры, которые, по его мнению, могут вывести регион из депрессивного состояния. В докладе отмечалось также, что на территории Бурятии находится более 80 разведанных и готовых к освоению месторождений полезных ископаемых. В ближайшее время предполагается строительство новых горно-обогатительных комбинатов.

На пленарном заседании выступили представители администрации Иркутской области, Забайкальского края, Республики Саха — Якутия, Департамента развития Дальнего Востока и Северных территорий Министерства регионального развития РФ, руководители зарубежных делегаций, а также ученые городов Москвы, Новосибирска, Томска, Читы, Улан-Удэ.

В докладе министра природных ресурсов Забайкальского края А. Н. Тарабарко отмечалось, что уникальный регион России — Забайкалье способен внести большой вклад в развитие отечественной и мировой экономики. В Забайкальском крае будут построены Бугдаинский и Широкинский горно-обогатительные комбинаты (ГОК), Удоканский (медный), Чинейский (магнетитовые руды, ванадий и др.), Косугинский (тантал, цирконий), Орехитканский (молибден) ГОКи. Планируется добыча коксующихся углей, увеличение добычи урана.

Заместитель председателя Правительства Республики Бурятия по экономическому развитию А. Е. Чепик выделил в своем докладе шесть зон опережающего развития в республике. Практически во всех зонах предполагается ускоренное развитие минерально-сырьевого комплекса. В Северной зоне будет осваиваться Холоднинское месторождение полиметаллических руд, в Восточной — месторождение полиметаллических руд (Озерное и Назаровское), железных руд (Гурвунур, Аришинское, Солонго и Балбагарское). В Центральной зоне будут осваиваться месторождения молибдена (Жарчихинское и Брянское), апатитов (Ошурковское), плавикового шпата (Третьяковское), в Южной зоне — месторождения вольфрама (Инкурское, Холтосонское и Мало-Ойнагорское) и каменного угля (Окино-Ключевское). В заключение докладчик

заверил, что в результате реализации вышеперечисленных проектов к 2017 году Республика Бурятия выйдет на бездотационный уровень, а с 2018 года станет регионом-донором.

Однако, как отмечалось в докладе проф. Л. П. Рихванова, разработка минерально-сырьевых ресурсов (МСР) является одним из самых сложных и многофакторных видов воздействия, затрагивающего все геосферные оболочки. При этом прежде всего происходит нарушение экологических функций литосферы и гидросферы. Об этом достаточно красноречиво свидетельствуют данные по Норильскому рудному району, Уралу, Кольскому полуострову или по районам нефте- и газодобычи в Западной Сибири (Грива, 2006 и др.). И, несмотря на это, у регионов имеется естественное желание вести активную разработку МСР с целью формирования своего бюджета. Освоение минерально-сырьевых ресурсов в таких регионах, как Байкальский, требует чрезвычайно взвешенного подхода. Все принимаемые решения должны быть предварительно оценены, прежде всего, с позиций максимального сохранения неповторимых ландшафтов этих территорий, несмотря на кажущуюся привлекательность экономических расчетов и выгод. По опыту технологически развитых государств, доля затрат на природоохранные мероприятия, даже в регионах, где отсутствуют уникальные памятники природы, составляет 30...50 % от капитальных вложений на строительство промышленного объекта.

В выступлениях А. М. Лихатинова, С. Г. Шапхаева, И. Г. Креницкого и других докладчиков особо подчеркивалось, что намечаемые добыча, разработка и обогащение полиметаллических руд месторождений "Холоднинское", апатитовых руд Ошурковского месторождения, молибденовых руд Жарчихинского и Орехитканского месторождений должны проводиться с использованием экологически безопасных технологий комплексной переработки сырья с применением современных методов добычи, разработки и обогащения полезных ископаемых, очистки сточных вод, пыле-газовых выбросов и утилизации твердых отходов, соответствующих требованиям хозяйствования в особой экономической зоне участка мирового наследия — озера Байкал.

Глобальным экологическим проблемам на планете Земля был посвящен доклад акад. Р. И. Нигматуллина. Нерациональное использование энер-



гетических ресурсов, отрицательные последствия экономической политики ведущих мировых держав приводят к тому, что общество вступает в противоречие с окружающей средой, используя все большие объемы компонентов окружающей среды, загрязняя и нарушая водные, земельные и воздушные среды. Выход из создавшейся экологической ситуации, по его мнению, возможен только на основе самоограничения в потреблении природных ресурсов и использовании новых экологически безопасных технологий.

На конференции отмечалось, что многие экологические проблемы Байкальского региона, как и России в целом, были обусловлены неограниченным использованием природных ресурсов и их бесплатностью. При нулевой цене природопользования для большинства природных компонентов отсутствовали регулирующие механизмы и инструменты управления, сдерживающие чрезмерную эксплуатацию окружающей среды и предохраняющие ее от деградации и уничтожения. Бесплатное использование окружающей среды привело к истощению природных ресурсов, безнаказанному загрязнению промышленными и бытовыми отходами, разрушению и гибели биоразнообразия. Декларируемые приоритеты сохранения природной среды в сочетании с устаревшими методами ведения хозяйства, неэффективным использованием финансовых средств и распределением инвестиций порождают противоречия между экологическими и социально-экономическими интересами общества. Повышение эффективности функционирования эколого-экономических систем Байкальского региона может быть достигнуто за счет экономических и организационных методов управления. Однако в настоящее время отсутствие единого управляющего и координирующего органа на Байкальской природной территории ведет к несогласованным действиям, сложностям в принятии общих решений по устойчивому развитию территории, контролю в эколого-экономической сфере деятельности.

В докладах отмечалось, что Байкальский меридиан, находящийся в географическом центре страны и на границах с зарубежной Азией, является уникальной площадкой для создания благоприятных международных отношений России со странами Центральной и Восточной Азии, развития взаимовыгодных отношений между Западом и

Востоком, а также для решения глобальных и региональных эколого-экономических задач.

На конференции также обсуждались вопросы необходимости мониторинга состояния озера Байкал и всех его природных комплексов с привлечением самых современных научных разработок технических средств и технологий, так как контроль и принятие экологически безопасных управленческих решений невозможны без мониторинга состояния озера Байкал.

В рамках проведения конференции была осуществлена презентация открытия Фонда содействия сохранению озера Байкал (ФССОБ). Главные цели и задачи ФССОБ — поддержка масштабных научных проектов и проведение исследований, направленных на сохранение озера Байкал; выработка четких научно-практических рекомендаций на основе данных исследований; содействие разработке новейших экологически безопасных технологий и их промышленному внедрению; сохранению биологического разнообразия озера и Байкальского региона в целом.

Генеральный директор Группы компаний "МЕТРОПОЛЬ", председатель Попечительского Совета ФССОБ М. В. Слипенчук отметил: "Фонд содействия сохранению озера Байкал возлагает на себя масштабную задачу по развитию института экологической ответственности российского бизнеса. Его деятельность нацелена на то, чтобы всеми возможными способами — от поддержки масштабных научных исследований озера до содействия созданию экологически безопасных технологий — способствовать сохранению и охране Байкальской природной территории".

В рамках Международной конференции был осуществлен первый этап уникальной международной научно-исследовательской экспедиции "Миры на Байкале". Участниками экспедиции были отобраны пробы грунта, воды, биологических объектов и произведены видео- и фотосъемка. На дне Байкала были установлены символы экспедиции.

Российской Академией Наук подготовлена программа научных исследований озера Байкал на 2008 и 2009 годы. Научная информация, собранная в ходе экспедиции, будет использована для прогнозирования различных природных процессов на Байкале, разработки комплекса мероприятий и рекомендаций, позволяющих максимально оптимизировать хозяйственную деятельность в Байкаль-



ском регионе с целью сохранения уникальных природных ресурсов озера Байкал.

В работе конференции приняли участие более 350 представителей Российской академии наук, Совета Федерации и Государственной Думы РФ, РФФИ, федеральных министерств и ведомств, правительства Республики Бурятия, администраций Иркутской области и Забайкальского края, руководители промышленных предприятий и компаний, государственных и общественных экологических организаций, а также ученые, специалисты, представители политических и деловых кругов из Китая, Монголии, Швейцарии, княжества Монако.

Плодотворный информационно-аналитический обмен между участниками конференции, анализ

современной ситуации экономического развития, хозяйственной, инвестиционной, туристско-рекреационной деятельности на Байкальской природной территории позволили участникам конференции наметить основные направления интеграции, координации усилий и взаимовыгодного сотрудничества государства, субъектов Федерации, частного капитала, научных и общественных организаций по дальнейшему социально-экономическому развитию Байкальского региона, выработать ряд рекомендаций и определить приоритеты экологически безопасного социально-экономического развития этой богатейшей территории и взаимовыгодного сотрудничества на востоке России с Монголией и Китаем.

## ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Продолжается подписка на журнал "Безопасность жизнедеятельности" на I полугодие 2009 г. Оформить подписку можно через подписные агентства или непосредственно в редакции.

Подписные индексы по каталогам: Роспечать — **79963**; Пресса России — **83776**.

Информация о журнале размещена на сайте <http://novtex.ru/bjd>

107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4.

Тел. (495) 269-53-97. Тел./факс (495) 269-55-10.

e-mail: [bjd@novtex.ru](mailto:bjd@novtex.ru)

### 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, Стромьинский пер., 4**

**Телефон редакции журнала (495) 269-5397, тел./факс (495) 269-5510, e-mail: [bjd@novtex.ru](mailto:bjd@novtex.ru), <http://novtex.ru/bjd>**

Художник *В. Н. Погорелов*. Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. В. Конова*. Корректор *О. А. Шаповалова*.

Сдано в набор 11.09.08. Подписано в печать 24.10.08. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,19. Заказ 1120.

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.